

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

SÁVIA SOARES PASCOALINI

**EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA NOS MANGUEZAIS  
NA BAÍA DE VITÓRIA, ES**

ARACRUZ

2014

SÁVIA SOARES PASCOALINI

# **EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA NOS MANGUEZAIS NA BAÍA DE VITÓRIA, ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Mônica Maria Pereira Tognella

Co-orientador: Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto

ARACRUZ

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

P281e	Pascoalini, Sáva Soares, 1989- Eficiência fotossintética nos manguezais na Baía de Vitória, ES / Sáva Soares <u>Pascoalini</u> . – 2014. 69 f. : il.
	Orientador: <u>Mônica Maria Pereira Tognella</u> . Coorientador: <u>Antelmo Ralph Falqueto</u> .
	Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.
	1. Fotossíntese. 2. Pigmentos. 3. Fluorescência. 4. Clorofila. 5. Manguezais. 6. Ecofisiologia vegetal. 7. Teste JIP. I. <u>Tognella</u> , Mônica Maria Pereira. II. <u>Falqueto</u> , Antelmo Ralph, 1979-. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.
	CDU: 55



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA  
AMBIENTAL

**"EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA NOS MANGUEZAIS NA  
BAÍA DE VITÓRIA, ES"**

SÁVIA SOARES PASCOALINI

Profa. Dra. Mônica Maria Pereira Tognella  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora - Examinador Interno UFES

Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Interno UFES

Profa. Dra. Diolina Moura Silva  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador Externo UFES

Vitória, 12 de maio de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

À FAPES (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo) pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os membros do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental que direta ou indiretamente auxiliaram na minha formação.

À professora Dr<sup>a</sup>. Mônica Maria Pereira Tognella pela orientação, amizade, auxílio e por acreditar na minha capacidade em desenvolver esse trabalho.

Ao professor Dr. Antelmo Ralph Falqueto pela co-orientação e disponibilidade na execução da dissertação.

À mestra Gabriela Zamprogno, pelo apoio, disposição e amizade na execução do meu trabalho.

À Bióloga Dielle Meire de Santana Lopes, pela imensa ajuda, seja com artigos, análise de laboratório e trocas de ideias, agradeço muito.

Àqueles que auxiliaram minhas coletas e o trabalho em laboratório, Diego, Karen, Larissa e Marcos.

À minha família, pelo apoio e incentivo em toda a minha vida. Vocês são meu porto seguro. Amo muito vocês!

Ao Diego, meu namorado, meu amor. Agradeço por tudo que fez e faz por mim. Obrigada por proporcionar que eu me torne uma pessoa melhor, sem você eu ficaria na escuridão. Agradeço por todo cuidado, dedicação e preocupação que tem por mim em todos os aspectos. Obrigada pela disponibilidade, na verdade muito mais que disponibilidade, em ajudar no que preciso. Se não fosse você, eu não estaria aqui, você acreditou que eu conseguiria e auxiliou para que eu obtivesse êxito. Obrigada pela paciência em explicar tudo para mim. Amo você!

## RESUMO

As espécies de mangue apresentam vários mecanismos de eliminação do sal. As espécies sal secretoras e sal acumuladoras apresentam maior tolerância à salinidade, como *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman ex Moldenke e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, respectivamente. Em contrapartida, as espécies que excluem sal em nível de raiz, como *Rhizophora mangle* L., são mais sensíveis aos efeitos dos sais. Neste sentido, temos como proposta avaliar se as espécies mais tolerantes apresentam alterações na eficiência fotossintética em diferentes salinidades e se tais espécies exibem maior eficiência fotossintética em salinidades mais elevadas. Duas áreas de manguezal, submetidas a diferentes condições de salinidade, foram escolhidas para o estudo, manguezal da Ilha da Baleia ( $20,91 \pm 1,25$ ) e do rio Aribiri ( $27,13 \pm 2,91$ ), localizadas na Baía de Vitória, ES. No manguezal da Ilha da Baleia, *A. schaueriana* e *L. racemosa* apresentaram maior rendimento quântico da fotoquímica primária –  $0,90$  ( $\phi P_o$ ). Entretanto, os maiores valores do Índice de Desempenho por absorção ( $PI_{ABS}$ ) foram observados em *L. racemosa* e *R. mangle*,  $2,40$  e  $2,33$ , respectivamente. O Índice de Desempenho total ( $PI_{total}$ ) foi mais elevado em *L. racemosa*,  $2,25$ . No entanto, a assimilação de carbono ( $A$ ) não difere estatisticamente entre as espécies avaliadas. No manguezal do rio Aribiri, *L. racemosa* e *R. mangle* apresentam o melhor desempenho fotoquímico como visto nos parâmetros  $\phi P_o$  ( $0,91$ ),  $PI_{ABS}$  ( $2,48$ ) e  $PI_{total}$  ( $2,20$  e  $2,33$ ). No entanto, a avaliação de trocas gasosas indica que *A. schaueriana* e *L. racemosa* são as espécies mais tolerantes às condições impostas como conjecturado inicialmente, ambas apresentam maior  $A$  ( $1,15$  e  $1,07$ ) e Eficiência no Uso da Água Intrínseco ( $2,22$  e  $2,36$ ) e Instantâneo ( $1,19$  e  $1,14$ ). *R. mangle* demonstra sensibilidade à salinidade quanto a sua assimilação de carbono e EUA.

**Palavras-chave:** teste JIP, fotossíntese, pigmentos fotossintéticos.

## ABSTRAT

The mangrove species have different mechanisms to eliminate the salt. Some of them are salt secretors species and others salt accumulators. These mechanisms give them to increase tolerance to salinity, as *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman ex Moldenke and *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn, respectively. In contrast, excluders salt species that do this on the root level, such as *Rhizophora mangle* L. are more sensitive to the effects of salts. In this sense, our aim is to evaluate how was the behavioral to the most tolerant species in photosynthetic efficiency under different salinities and if such species will exhibit higher photosynthetic efficiency at higher salinities. Two mangrove areas, under different salinity conditions were chosen for the study, mangrove of Baleia Island ( $20.91 \pm 1.25$ ) and Aribiri River ( $27.13 \pm 2.91$ ), located in the Bay Vitoria, ES. *A. schaueriana* and *L. racemosa* had higher quantum yield of primary photochemistry – 0.90 ( $\phi P_0$ ) in Baleia Island. However, the highest values of the Performance Index by absorption ( $PI_{ABS}$ ) were observed in *L. racemosa* and *R. mangle*, 2.40 and 2.33, respectively. The total Performance Index ( $PI_{total}$ ) was higher in *L. racemosa*, 2.25. However, carbon assimilation (A) did not differ statistically among the species assessed. In Aribiri river, *L. racemosa* and *R. mangle* feature the best photochemical performance as seen in the parameters  $\phi P_0$  ( 0.91 ),  $PI_{ABS}$  (2.48) and total PI (2.20 and 2.33). However, the evaluation of gas exchange indicates that *A. racemosa* and *L. schaueriana* are more tolerant to salt conditions as originally conjectured, both have higher A (1.15 and 1.07) and Water Use Efficiency (WUE) Intrinsic (2.22 and 2.36) and Instantaneous (1.19 and 1.14), respectively. *R. mangle* demonstrates to be sensitivity to salinity when we analyze its carbon assimilation and WUE.

**Keywords:** JIP test, photosynthesis, photosynthetic pigments.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Salinidade da água do rio nos bosques de manguezal na Ilha da Baleia e no rio Aribiri obtidos em abril (maré de sizígia, maré baixa) e setembro de 2013 (maré de quadratura, corrente de maré enchente). Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....38

Tabela 2. Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* (médias e  $\pm$  desvio padrão) deduzidos a partir de análises do Teste JIP. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....42

Tabela 3. Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* (médias e  $\pm$  desvio padrão) deduzidos a partir de análises do Teste JIP. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....44

Tabela 4. Concentração de pigmentos fotossintéticos (médias e  $\pm$  desvio padrão) para *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* nos manguezais da Ilha e do rio Aribiri (abril de 2013). Dados com letras diferentes indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....45

Tabela 5. Diferença de temperatura (média e  $\pm$  desvio padrão) entre as folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* e a atmosfera ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os bosques da Ilha e do Rio Aribiri. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....51

Tabela 6. Concentração de pigmentos fotossintéticos no manguezal da Ilha e no rio Aribiri em julho de 2013. Valores são médias das amostras e  $\pm$  desvio padrão. Dados (média e desvio padrão) com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.....51



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema adaptado proposto por Strasser et al. (2000) para demonstração da curva típica transiente OJIP em estado adaptado ao escuro.....	17
Figura 2. Modelo simplificado da Teoria de Fluxo em Biomembranas adaptado a partir de Strasser (2000).....	19
Figura 3. Localização das áreas de estudo no Sistema Estuarino da Baía de Vitória, Aribiri (Vila Velha) e Ilha da Baleia (Vitória) .....	26
Figura 4. Dados de fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> nos manguezais da Ilha e rio Aribiri para <i>Avicennia schaueriana</i> (Av), <i>Laguncularia racemosa</i> (Lg) e <i>Rhizophora mangle</i> (Rh). A) - Intensidade da fluorescência; B) - Fluorescência variável relativa [ $V_{op} = (F_t - F_o) / (F_M - F_o)$ ] .....	39
Figura 5. Diferença cinética $V_{OP}$ [ $\Delta V_{OP} = V_{OP} \text{ (tratamento)} - V_{OP} \text{ (controle)}$ ], em escala logarítmica, nos manguezais da Ilha e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , respectivamente .....	40
Figura 6. Diferença cinética $V_{OK}$ [ $\Delta V_{OK} = V_{OK} \text{ (tratamento)} - V_{OK} \text{ (controle)}$ ], em escala linear, entre os pontos O e K, nos manguezais da Ilha e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , respectivamente .....	41
Figura 7. Diferença cinética de $V_{OJ}$ [ $\Delta V_{OJ} = V_{OJ} \text{ (tratamento)} - V_{OJ} \text{ (controle)}$ ], em escala linear, entre os pontos O e J, nos manguezais da Ilha e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , respectivamente .....	42
Figura 8. Diferença cinética de $V_{OI}$ [ $\Delta V_{OI} = V_{OI} \text{ (tratamento)} - V_{OI} \text{ (controle)}$ ], em escala logarítmica, entre os pontos O e I, nos manguezais da Ilha e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , respectivamente .....	42
Figura 9. Diferença cinética de $V_{IP}$ [ $\Delta V_{IP} = V_{IP} \text{ (tratamento)} - V_{IP} \text{ (controle)}$ ], em escala linear, entre os pontos I e J, nos manguezais da Ilha e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam <i>Avicennia schaueriana</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Rhizophora mangle</i> , respectivamente .....	44

Figura 10. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) nas espécies *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* no manguezal da Ilha. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....46

Figura 11. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) nas espécies *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* no manguezal da rio Aribiri. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....47

Figura 12. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) medidos para *Avicennia schaueriana*. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer ..... 48

Figura 13. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) medidos para *Laguncularia racemosa*. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....49

Figura 14. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) medidos em *Rhizophora mangle*. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer .....50

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS.....	15
2.1. Fotossíntese.....	15
2.2. Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> .....	17
2.3. Teste JIP e a Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas.....	18
2.4. Trocas gasosas.....	19
2.5. Estresse salino e absorção de água pelos manguezais .....	19
2.6. Efeitos da salinidade sobre a vegetação.....	21
2.7. Tolerância à salinidade .....	23
3. ÁREA DE ESTUDO .....	26
3.1. Sistema Estuarino da Baía de Vitória.....	26
3.2. Manguezal .....	28
3.3. Impacto ambiental.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	31
4.1. Salinidade .....	31
4.2. Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> .....	31
4.2.1. Teste JIP .....	32
4.3. Trocas gasosas.....	34
4.7. Pigmentos fotossintéticos .....	35
4.8. Análise estatística .....	36
5. RESULTADOS .....	38
5.1. Salinidade .....	38
5.2. Fluorescência transiente da clorofila <i>a</i> .....	38
5.2.1. Teste JIP .....	42
5.2.2. Pigmentos fotossintéticos .....	45
5.3. Trocas gasosas.....	46
5.3.1. Pigmentos fotossintéticos .....	51
6. DISCUSSÃO.....	52
7. CONCLUSÕES.....	60
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

O ecossistema manguezal se desenvolve nas regiões costeiras tropicais e subtropicais do mundo. Por estar localizado na zona intertidal sofre influência direta da variação das correntes de maré e, conseqüentemente, de salinidade (Walsh 1974, Alongi 2002). Esta é um dos principais fatores abióticos aos quais as espécies de mangue estão submetidas e, em alguns casos, o mais limitante ao seu desenvolvimento ótimo (Tomlinson 1986, Parida e Jha 2010, Wang et al. 2011).

As espécies do manguezal são consideradas como tolerantes à salinidade, pois possuem a habilidade de crescer e completar seu ciclo de vida em um substrato salino, e, portanto, são classificadas como halófitas (Tomlinson 1986, Parida e Jha 2010). Contudo, os íons salinos são responsáveis, direta ou indiretamente, pela diminuição da fotossíntese e, portanto, do crescimento da vegetação (Ball 1988). Dessa maneira, as espécies de mangue controlam os efeitos da salinidade sobre o protoplasma por meio de mecanismos que atuam de forma a minimizar as implicações tóxicos do sódio e cloro, seja excluindo-os em nível de raiz ou eliminando-os na parte aérea por meio de glândulas de secreção ou tricomas; seja aumentando suculência das folhas ou compartimentando sais (Ball et al. 1988, Medina 1999, Larcher 2006, Flowers e Colmer 2008).

As plantas de mangue são divididas em três grupos em função da forma como eliminam sais: 1) as secretoras de sal, 2) as acumuladoras de sal e 3) as sal excludentes (Parida e Jha 2010). As espécies sal secretoras são mais tolerantes à salinidade, seguidas das espécies sal acumuladoras. A secreção de sal é realizada por meio de glândulas de secreção nas folhas e permite o estabelecimento das espécies em locais com teores elevados e variáveis de salinidade. As espécies sal acumuladoras apresentam elevadas concentrações de sal em suas células e tecidos, além de alocar íons eficientemente para os vacúolos. As espécies que realizam exclusão de sal em nível de raiz são menos tolerantes à salinidade. Exemplos do primeiro grupo são as espécies do gênero *Avicennia* L. A espécie *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. é considerada uma espécie acumuladora de sal, podendo também realizar secreção de sal por meio de tricomas. O terceiro grupo

contém, por exemplo, espécies do gênero *Rhizophora* L. entre outras (Scholander 1962, Tomlinson 1982, Ball 1988, Parida e Jha 2010).

Além da eliminação do sal, outra característica fisiológica que diferencia as espécies de mangue quanto à sua tolerância a salinidade, é a eficiência no uso da água (ganho de carbono com relação à perda de água). Os gêneros secretores, como *Avicennia* e *Laguncularia*, apresentam maior eficiência no uso da água, favorecendo seu estabelecimento em maiores salinidades. Esse comportamento é diferente daquele apresentado por espécies do gênero *Rhizophora* que diminuem a conservação da água à medida que o conteúdo de sais aumenta (Sobrado 2000). Contudo, o aumento da tolerância apresentado por uma espécie em particular é obtido à custa do menor crescimento do indivíduo, implicando em menor assimilação de carbono, mesmo em condições ótimas de salinidades, quando comparadas àquelas menos tolerantes (Ball 1988). Logo, podem-se esperar diferenças em desenvolvimento entre as espécies consideradas mais ou menos tolerantes quanto ao desempenho fotossintético em distintas salinidades.

Entretanto, são escassos os estudos que correlacionem menor eficiência na produção primária e desenvolvimento estrutural das florestas de mangue. Este estudo avalia se as espécies de mangue apresentam alterações na eficiência fotossintética em diferentes salinidades e se aquelas consideradas como tolerantes exibem maior eficiência fotossintética em salinidades mais elevadas. Para confirmar a hipótese, parâmetros que indiquem a eficiência fotossintética das espécies serão avaliados, comparando-os entre salinidades distintas. Os parâmetros utilizados para a estimativa desta eficiência são as medidas de trocas gasosas, que fornecem informações a respeito de assimilação fotossintética e eficiência no uso da água, também serão aferidos a eficiência em absorção e utilização de luz por meio da análise da fluorescência da clorofila *a* e o teste JIP, e por último, a concentração de pigmentos fotossintéticos.

Neste estudo iremos contribuir para o conhecimento da fotossíntese *in situ* nos manguezais avaliando seu comportamento quanto à salinidade em condições próximas à água do mar e teores inferiores, visto que o conhecimento do desempenho fotossintético da vegetação do manguezal em campo é restrito. A maioria das pesquisas tendo sido realizadas, sobretudo em áreas de manguezal

hipersalinas com deficiência de nutrientes, principalmente, fósforo e nitrogênio (Naidoo 2009, Feller et al. 2003, Lovelock et al. 2004, Lovelock et al. 2006, Martin et al. 2010). Ao mesmo tempo, há escassez de trabalhos que estimam a eficiência em absorção de luz e a assimilação fotossintética em conjunto em condições naturais, normalmente os estudos levantam apenas dados de trocas gasosas, que fornecem informações a respeito da assimilação de carbono.

Além disso, no Brasil, o conhecimento sobre a fotossíntese das espécies do manguezal é extremamente limitado, contendo apenas os trabalhos de Falqueto et al. (2008, 2012) que avaliaram o desempenho fotoquímico da fotossíntese (eficiência no uso de radiação) das espécies *R. mangle* e *L. racemosa* com relação à salinidade na Baía de Vitória, ES. Os autores observaram que o acréscimo em salinidade do substrato é acompanhado por aumento na atividade fotoquímica em ambas as espécies. Portanto, faz-se necessário estudos que determinem o desempenho fotossintético dos manguezais em salinidades acima do medido pelos referidos autores dentro da Baía de Vitória. Com isto será possível interpretar se este comportamento é padrão para outras faixas de salinidade, visto que a maioria da literatura relata que o aumento em salinidade é responsável pela diminuição da eficiência fotossintética. Além da contribuição científica ao conhecimento dos manguezais, estudos dessa natureza colaboram também com a gestão do ambiente, que vêm passando ao longo das últimas décadas por degradação ambiental, como *input* de esgoto, despejo de lixo, perda de área e constantes dragagens (Jesus et al. 2004).

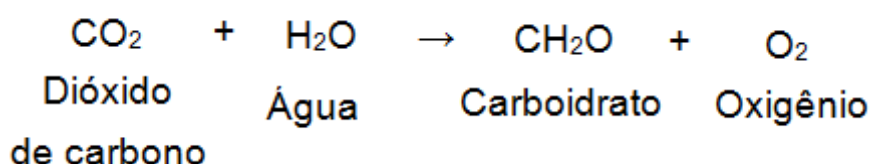
Na próxima seção são oportunizadas ao leitor as considerações teóricas a respeito do trabalho, englobando o processo fotossintético, as técnicas utilizadas para sua avaliação e os efeitos da salinidade sobre a vegetação do manguezal. Na Seção 3 há a descrição da área de estudo, posteriormente, são apresentados os métodos utilizados no trabalho e, em seguida, nas Seções 5 e 6, são expostos os resultados e a discussão, respectivamente. Ao final, as conclusões do trabalho.

## 2. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Nessa seção são apresentados os conceitos empregados e as técnicas utilizadas no decorrer da dissertação.

### 2.1. Fotossíntese

A fotossíntese é o processo realizado por plantas e algas utilizando energia luminosa na produção de compostos de carbono. Mais especificamente, por meio da energia luminosa, elas sintetizam carboidratos a partir de dióxido de carbono e água liberando oxigênio (Taiz e Zeiger 2006), conforme descrito na equação em seguida:



A fotossíntese é o resultado de três processos que são: o processo fotoquímico (produção de ATP e NADPH), o bioquímico (fixação de CO<sub>2</sub>) e os processos de difusão (troca de gases entre a atmosfera e o interior da planta através do estômato). O local onde ocorre a fotossíntese é o cloroplasto, organela numerosa presente no citoplasma das células do mesófilo foliar (Larcher 2006).

O cloroplasto apresenta denso sistema de membranas internas, os tilacoides, onde estão os pigmentos que absorvem luz fotossinteticamente ativa - as clorofilas e os pigmentos acessórios (carotenoides e xantofilas). Cada um destes pigmentos tem comprimentos de onda máximos de absorção de fótons. A clorofila *a*, mais abundante, absorve maximamente nos comprimentos de onda de 430 e 660 nm; a clorofila *b*, em 450 e 640 nm; e carotenoides atuam entre 400 e 500 nm (Larcher 2006, Taiz e Zeiger 2006).

No processo fotoquímico, dois sistemas de pigmentos trabalham em série, sendo chamados de fotossistemas (FS) que estão conectados por uma cadeia transportadora de elétrons. Cada fotossistema é composto por um complexo de coleta de luz (LHC – "Light-Harvesting Complex") que possui pigmentos e proteínas e por um centro de reação ("reaction centres" - RC). O centro de reação também contém proteínas e uma molécula especial de clorofila *a* que têm pico de absorção de luz na faixa de 700 e 680 nm, denominados, respectivamente, de FSI e FSII. O

LHC absorve luz e repassa esta energia ao centro de reação (Strasser 2000, Larcher 2006).

Quando uma luz branca incide sobre a molécula de clorofila, esta altera seu estado eletrônico, passando da condição basal para a excitada (maior energia). Esta circunstância é temporária e a clorofila tem três maneiras de dissipar sua energia absorvida: pode direcioná-la à fotossíntese (dissipação fotoquímica), o excesso de energia pode ser transformado em energia calorífica, ou pode ocorrer uma re-emissão de luz - fluorescência da clorofila *a* (Maxwell e Johnson 2000). Esses três processos competem entre si, logo o aumento em uma via representa perda de rendimento em outra.

Apesar de a fluorescência compreender de 1 a 2% do total de luz absorvida, ela é relativamente de fácil medição, pois seu comprimento de onda é mais longo do que aquele da luz absorvida. Então, submetendo a amostra fotossintética a um determinado comprimento de onda sua emissão será em comprimento de onda mais longo (Maxwell e Johnson 2000), o que pode ser mensurado.

Os primeiros registros do fenômeno da fluorescência da clorofila *a* foram realizados por Kautsky (Strasser 2000), onde a iluminação de amostra fotossintética adaptada ao escuro induz um rápido acréscimo na emissão da fluorescência no primeiro segundo de iluminação. Em seguida, há diminuição do fenômeno e, em alguns minutos, a fluorescência atinge um estado estável. Esse aumento na emissão é atribuído à redução dos aceptores primários de elétrons, as plastoquinonas, especificamente a quinona A -  $Q_A$  (Maxwell e Johnson 2000, Strasser et al. 2000, Papageorgiou et al. 2007).

A molécula de clorofila *a*, P680, torna-se excitada quando absorve energia luminosa na faixa do espectro luminoso de 680 nm ( $P680^*$ ). O processo de excitação compreende a promoção de um elétron do orbital completo de mais elevado nível de energia da clorofila ao orbital incompleto de menor energia. O elétron no orbital superior está fracamente ligado à clorofila e pode ser perdido se uma molécula aceptora estiver por perto. Em condições ideais, a  $P680^*$  reduz uma molécula de feofitina (molécula de clorofila *a* desprovida de Mg) que então transfere o elétron para uma série de carreadores, quinonas A e B -  $Q_A$  e  $Q_B$  (Taiz e Zeiger 2006). Quando a  $Q_A$  está reduzida, isto é, já recebeu um elétron, ela não é capaz de aceitar outro até transferir o elétron para o próximo aceptor, a quinona B. Nesse caso, o



centro de reação está em condição denominada de fechada, pois P680 e a  $Q_A$  estão no estado reduzido. Quanto maior a proporção de RC fechado, menor é a eficiência da fase fotoquímica e maior é a emissão da fluorescência (Maxwell e Johnson 2000). Portanto, o estado redox dos aceptores primários de elétrons,  $Q_A$  e  $Q_B$ , do FSII é refletido pelo rendimento da fluorescência.

A transferência de elétrons é acompanhada com a produção de um gradiente de íons  $H^+$  transtilacoidal entre o estroma e o lúmen do cloroplasto, sendo a maior concentração de  $H^+$  localizada no lúmen ( $< pH$ ). A fim de manter certa estabilidade no pH entre o estroma e o lúmen,  $H^+$  são exportados para o estroma por meio de ATPases, formando ATP (Taiz e Zeiger 2006).

## 2.2. Fluorescência transiente da clorofila *a*

A fluorescência transiente da clorofila *a* é uma técnica que fornece avaliação da eficiência fotoquímica da fotossíntese e, principalmente, da estrutura e função do PSII (Strasser 2000, Papageorgiou et al. 2007, Adamski et al. 2011). A emissão da fluorescência da clorofila *a* decorre de aumento polifásico ou transiente do processo a partir da fluorescência inicial,  $F_0$ , até a intensidade máxima,  $F_M$  (ou  $F_p - 300$  ms). Os dados da fluorescência quando avaliados em escala logarítmica é observado entre esses dois extremos de fluorescência etapas intermediárias, cujos dados exibe uma curva denominada de OJIP, conforme demonstrado na Figura 1. A curva apresenta as fases: J (2ms) e I (30 ms), sendo que em algumas situações os passos adicionais - L e K (100 e 300 $\mu$ s) são notados. Essas medições são realizadas utilizando o equipamento denominado de fluorômetro (Strasser 2000).

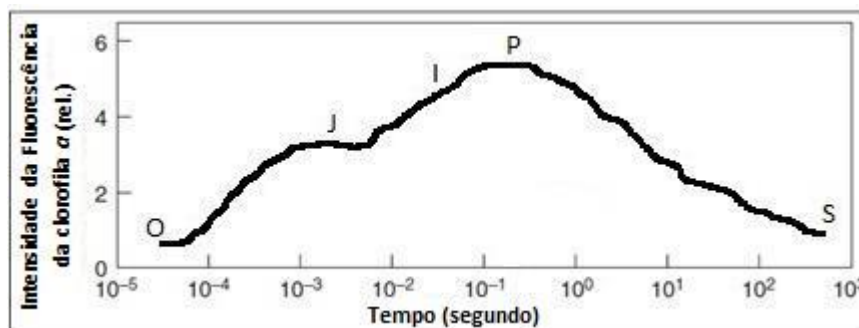


Figura 1: Esquema adaptado proposto por Strasser et al. (2000) para demonstração da curva típica transiente OJIP em estado adaptado ao escuro.

A fluorescência inicial ( $F_0$ ) representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas excitadas, antes da energia ser dissipada para o centro de reação do FSII, sendo independente dos processos fotoquímicos. Entretanto,  $F_0$  pode aumentar caso haja danos aos centros de reação do FSII ou se a transferência de energia entre o LHCII e o centro de reação esteja comprometida, ou ainda pode indicar ajuste no nível de pigmento antena (Yamane et al. 1997, Toth et al. 2007). O ponto J ( $F_J$ ) da curva OJIP sugere o estado redox do *pool* da plastoquinona (Toth et al. 2007).

As fases compreendidas entre O-J e I-P representam a redução do lado acceptor do FSII ( $Q_A$  e  $Q_B$ ) e a redução do lado acceptor do FSI, respectivamente. A fase intermediária, J-I, indica a redução (parcial) do *pool* da plastoquinona (Toth et al. 2007).

### **2.3. Teste JIP e a Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas**

A partir das análises do aumento da fluorescência transiente OJIP, Strasser (2000) propôs um teste que foi intitulado Teste JIP. O Teste JIP aplica os dados armazenados no primeiro segundo da fluorescência calculando vários parâmetros bioenergéticos a partir de suas equações. Para isto é empregado o software BIOLYSER, no capítulo Material e Métodos são apresentadas as equações usadas no cálculo para cada parâmetro analisado (Strasser et al. 2000, 2004).

O conceito do Teste JIP é baseado na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (Strasser et al. 2000, 2004). Essa teoria pode ser aplicada para qualquer amostra fotossintética em membranas biológicas. Na figura 2, é apresentado o modelo simplificado de fluxo de energia no aparato fotossintético, onde ABS refere-se ao fluxo de fótons absorvidos pelos pigmentos antena ( $Chl^*$ ). Parte dessa energia absorvida é dissipada (DI) como calor e como fluorescência (F), outra parte é capturada (“trapping flux” - TR) pelo RC e convertida em força redox, permitindo a redução do acceptor primário de elétrons,  $Q_A$  para  $Q_A^-$ . Quando o acceptor de elétrons é reoxidado tem início ao transporte de elétrons (“electron transport” - ET) entre o FSII e FSI (Strasser et al. 2000, 2004).

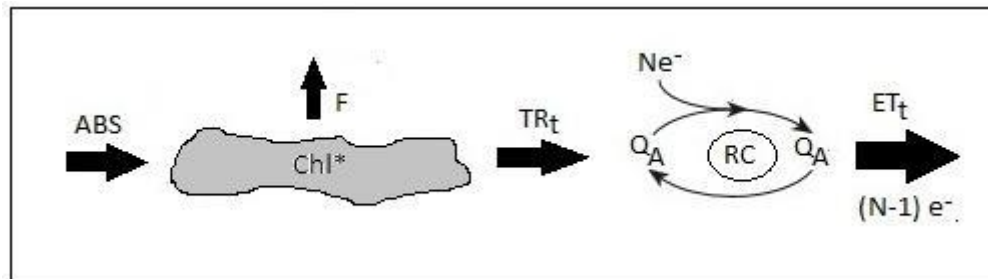


Figura 2. Modelo simplificado da Teoria de Fluxo em Biomembranas adaptado a partir de Strasser (2000).

## 2.4. Trocas gasosas

A fixação de carbono no estroma do cloroplasto está relacionada à circulação atmosférica por meio das trocas gasosas. Ou seja, há uma troca de  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$  entre o interior da planta e a atmosfera circundante. Nas trocas gasosas fotossintéticas, a planta fixa o  $\text{CO}_2$  atmosférico e libera  $\text{O}_2$  proveniente da molécula de água (Larcher 2006).

As trocas gasosas ocorrem por meio do processo de difusão que se torna mais veloz, numa dada temperatura, quanto maior for o gradiente de concentração destes gases entre a atmosfera e a folha e quanto menor for a resistência à difusão dos mesmos. As plantas absorvem gases, como o  $\text{CO}_2$ , através dos estômatos e eles são a principal barreira de resistência à difusão. Quando os estômatos estão abertos à resistência a difusão é mínima e quando estão fechados esta cresce infinitamente (Larcher 2006). O movimento estomático se altera ao longo do dia, apresentando maior abertura e condutância pela manhã e na parte da tarde, ao meio dia apresenta comportamento inverso. Como os manguezais restringem a perda de água reduzindo a condutância estomática, a absorção de  $\text{CO}_2$  é prejudicada, de forma que estas plantas apresentam a menor taxa de assimilação de carbono e maior eficiência no uso conservativo da água (EUA) do que a maioria das espécies  $\text{C}_3$  (Ball 1988).

## 2.5. Estresse salino e absorção de água pelos manguezais

A salinidade no ambiente marinho e no manguezal é devido principalmente ao NaCl (cloreto de sódio), este composto varia em tempo e espaço desde níveis próximos ao da água doce até condições hipersalinas (Ball 1988). Dentre os solutos dissolvidos na água do mar, 99,8% são sais, destes 86% correspondem ao sódio e

ao cloro. A concentração média de sais na água do mar é de aproximadamente 35 g/Kg, sendo que nesta situação são estimados valores correspondendo a 483 mM de  $\text{Na}^+$  e 558 mM de  $\text{Cl}^-$  (Libes 2009).

A salinidade possui dois componentes responsáveis pelo estresse causado aos vegetais, o osmótico e o iônico. O estresse osmótico altera o balanço hídrico (hidratação da planta) e o iônico é responsável pelo desequilíbrio nutricional do indivíduo e pela toxicidade dos íons nas células (Mehta et al. 2010, Prisco e Gomes-Filho 2010).

Os manguezais, apesar de se desenvolverem em áreas com constante variação do nível de água, submetem suas espécies vegetais a estresse hídrico constante, pois os sais retêm osmoticamente a água da solução salina, impossibilitando sua absorção pelas raízes. De forma que, quanto mais elevada for a concentração de sais, maior retenção de água e menor disponibilidade desta para absorção pelas plantas (Tomlinson 1986, Larcher 2006). O potencial hídrico da água do mar está em torno de -2,5 MPa, então, para absorver água as espécies de mangue, além de apresentarem menor potencial hídrico nos tecidos vegetais do que a água circundante, devem tê-lo suficientemente baixo, permitindo a absorção de água (Suaréz e Medina 2008).

O menor potencial hídrico nos tecidos e na seiva é alcançado com a absorção de sais, basicamente  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (Scholander et al. 1962, Poop et al. 1985), o que pode acarretar injúrias quando em excesso. Além dos íons, compostos orgânicos solúveis, como alcoóis, glicina-betaína e prolina, também contribuem com a diminuição do potencial hídrico, permitindo que a água se movimente ao longo desse gradiente (Poop et al. 1985) chegando até as folhas.

Entretanto, o excesso de íons pode causar distúrbios no equilíbrio iônico celular, entre  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^+$  em relação ao  $\text{Na}^+$ , além dos efeitos sobre as enzimas e membranas celulares, dessa forma, eles são ativamente enviados ao vacúolo das células (Naidoo et al. 2002, Larcher 2006) para atenuar o efeito negativo sobre o citoplasma. O equilíbrio osmótico entre o citoplasma e os diferentes compartimentos celulares, como o vacúolo, é mantido pela síntese de compostos orgânicos, como citado acima. Sem a compensação por meio dessas substâncias osmóticas haveria um gradiente de concentração entre o citoplasma e essa organela causando déficit hídrico no primeiro (Larcher 2006).

A absorção de água do ambiente circundante pela raiz e seu transporte em longa distância é devido à diferença de potencial hídrico entre aquela disponível para absorção, a planta e a atmosfera, sendo que o menor potencial hídrico é apresentado pelo último compartimento. Este gradiente de potencial hídrico no *continuum* solo-planta-atmosfera é a força motora para o transporte de água através da planta (Larcher 2006, Taiz e Zeiger 2006).

Logo, a absorção de água pela raiz é obtida com perda desta em nível de folha, contudo os manguezais, por estarem sobre estresse hídrico, restringem a perda de água para a atmosfera diminuindo a taxa de evaporação, a condutância estomática e, conseqüentemente, a diferença da pressão de vapor entre a folha e a atmosfera (Ball 1988).

## **2.6. Efeitos da salinidade sobre a vegetação**

A salinidade induz distúrbios em vários níveis dentro da planta, nesse item serão primeiramente abordadas às alterações em nível celular (microscópico) e, em seguida, em nível macroscópico (espécie e ecossistema). Em nível celular, o excesso de absorção de íons causa um desequilíbrio na relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , fazendo com que esta aumente com o acréscimo em salinidade do substrato, uma vez que o íon  $\text{Na}^+$  apresenta mesma carga energética que o  $\text{K}^+$  e maior concentração no ambiente circundante, o que o torna mais facilmente absorvido (Naidoo et al. 2002). Esse desequilíbrio pode limitar a fotossíntese em condições salinas (Ball e Farquhar 1984).

Cloroplastos, tanto de espécies tolerantes ao sal quanto daquelas sensíveis ao sal, têm um pequeno requerimento de cloro para que haja atividade máxima da evolução do oxigênio, contudo se a composição iônica da organela não estiver dentro de níveis fisiologicamente aceitáveis, os sais desencadeiam inúmeras alterações estruturais nelas (Ball 1986). Os íons salinos atuam no lado oxidante do PSII, especificamente no complexo de evolução do  $\text{O}_2$ , onde polipeptídeos, 17 e 24 kD, ligados extrinsecamente ao PSII são liberados (Ball 1986, Parida et al. 2003). Outras conseqüências causadas pelos íons são modificações na estabilidade de citocromo B6f levando a liberação de seus polipeptídios, além de provocar perda do

empilhamento granal. Consequentemente, a cadeia transportadora de elétrons tem seu fluxo interrompido (Parida et al. 2003).

Com relação aos pigmentos fotossintéticos, normalmente, o aumento em salinidade induz diminuição na concentração de clorofilas, ou seja, decréscimo na absorção de luz (Sobrado 1999<sup>a</sup>, Naidoo et al. 2002, Parida et al. 2003, Sudhir e Murthy 2004, Naidoo et al. 2011). Fatores como menor concentração de clorofila e desativação do centro de reação do PSII, por meio da liberação de proteínas D<sub>1</sub>, indicam fotoinibição crônica em plantas submetidas à elevada salinidade. Entretanto, indivíduos submetidos a salinidades intermediárias podem apresentar fotoinibição dinâmica por volta do meio-dia, devido à grande carga energética a qual os manguezais estão submetidos e também por não realizarem resfriamento evaporativo adequado uma vez que fecham os estômatos para conservarem água (Christian 2005, Barr et al. 2009).

Em consequência, dessas alterações relatadas acima na estrutura e no funcionamento das membranas dos tilacoides, a presença destes íons em excesso podem ainda causar a diminuição na capacidade fotoquímica (Parida et al. 2003). A redução da eficiência fotoquímica ( $F_v/F_m$ ) com incremento em salinidade no substrato foi observada nos trabalhos de vários autores, com as espécies *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh, *Bruguiera parviflora* Wight & Arn. Ex Griffith e *Rhizophora mucronata* Lam. (Parida et al., 2003; Hoppe-Speer et al., 2011; Naidoo et al., 2011). Em adição a diminuição em  $F_v/F_m$ , acréscimo em salinidade causa aumento em fluorescência inicial ( $F_0$ ), diminuição na re-oxidação da Quinona A ( $\Delta VJ$ ) e diminuição no transporte de elétrons –  $ET_0/TR_0$  (Mehta et al. 2010).

Além, de danos aos processos fotoquímicos atuando em nível de tilacóides, a salinidade compromete também a fixação de carbono nos processos bioquímicos situados no estroma do cloroplasto (Sobrado 1999<sup>a</sup>). Como os processos fotoquímicos são menos eficientes, consequentemente, há restrição no fornecimento em compostos reduzidos, ATP e NADPH, para as reações de fixação de carbono. A diminuição destes compostos retarda a regeneração da ribulose (ribulose-1,5-bifosfato) causando inativação da RuBisCo (ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxygenase), enzima responsável pela fixação de CO<sub>2</sub> (Ball 1986, Larcher 2006), ao mesmo tempo, este aumento em salinidade pode incrementar a

atividade oxigenase da rubisco (Sudhir e Murthy 2004), uma vez que o oxigênio livre compete com o  $\text{CO}_2$  por este substrato.

Em adição aos fatores que atuam diretamente nos cloroplastos, a fotossíntese também é limitada devido à baixa difusão do  $\text{CO}_2$ . O aumento da restrição hídrica atenua a condutância estomática e a transmissão dos gases pelo mesófilo, significando em redução da concentração do carbono interno no interior da folha. Estes fatores são consequências da necessidade que as plantas de mangue têm em utilizar de forma conservativa a água com a ampliação do estresse hídrico (Sobrado 1999<sup>b</sup>, Ball e Farquhar 1984, Parida et al. 2004). Outra implicação causada pela salinidade e deficiência hídrica é a diminuição na condutância hidráulica do caule fornecendo menos água para a parte aérea da planta (Sobrado 2000, 2001).

Manguezais submetidos a estresse hídrico tendem a priorizar a habilidade em coleta de água do que o crescimento em altura, de forma que o aumento em salinidade causa mudança no padrão de alocação de carbono, sendo assim, locais mais salinos tendem a apresentar maior biomassa de raiz em relação à parte aérea, diminuindo área e biomassa foliar, restringindo a fotossíntese e, conseqüentemente, crescimento (Ball e Farquhar 1984, Ball et al. 1997, Parida et al. 2004, Naidoo 2009, Hoppe-Speer et al. 2011). Sendo assim, quando sujeitos a gradiente elevado de salinidade o desenvolvimento estrutural dos bosques de manguezal é reduzido gradativamente como consequência do aumento da restrição hídrica (Martin et al. 2010).

## **2.7. Tolerância à salinidade**

As espécies sal-secretoras, conforme classificação abordada anteriormente, apresentam em suas folhas glândulas de secreção ou tricomas. A concentração do fluido secretado é maior que a água do mar no local e composição predominante de NaCl, com pequena contribuição de outros íons como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  e  $\text{Zn}^{+2}$  (Scholander et al 1962, Sobrado e Greanes 2000). Este comportamento íon seletivo otimiza a aquisição daqueles elementos em menor concentração. Nesse grupo, a concentração de sal na seiva do xilema é maior do que aquela registrada nas espécies não secretoras. As espécies que acumulam sais translocam esses íons para as células e tecidos mais velhos e também alocam-nos eficientemente para os

vacúolos, tornando-se suculentas. A redução da concentração salina da seiva pode ser alcançada enviando os sais às folhas senescentes ou armazenando-os no tronco ou nas raízes (Parida e Jha 2010). O grupo sal excludente, evita a entrada excessiva de sais pelo processo de ultrafiltração em nível de raiz. Consequentemente, aquelas espécies de mangue que são sal-secretoras e sal-acumuladoras apresentam maior tolerância ao aumento de salinidade (Scholander et al 1962, Parida e Jha 2010).

Outra forma da vegetação do manguezal tolerar o aumento em salinidade é tornar-se mais conservativa no uso da água, ou seja, diminuindo a quantidade de água gasta na obtenção de carbono, assim há aumentando a eficiência no uso de água (EUA). Essa estratégia ocorre para toda a espécie independente da sua maneira de eliminar os sais (Ball 1988).

Os manguezais se desenvolvem nas regiões tropicais e subtropicais onde recebem grande carga energética requerendo resfriamento evaporativo nas suas superfícies foliares, a fim de manter a temperatura foliar próxima a temperatura do ar (Ball 1988, Medina 1999). Contudo, suas espécies vegetais estão em constante estresse hídrico devido aos sais dissolvidos na água circundante, dessa forma, os manguezais devem restringir a perda de água. Então, algumas estratégias são adotadas pelas espécies para diminuir a carga energética que alcança a superfície foliar diminuindo a perda de água, como alteração no ângulo foliar, redução no tamanho e aumento da suculência da folha, possibilitando a manutenção da temperatura foliar próximo à temperatura do ar, limitando assim, a perda de água por transpiração (cuticular e estomática), de tal modo que a eficiência no uso de água aumente (Ball 1988, Medina 1999, Barr et al. 2009).

O aumento da EUA com a salinidade é um mecanismo de tolerância a este fator abiótico, porém essa estratégia é dispendiosa para o indivíduo, pois a restrição à perda de água é obtida pela diminuição na condutância estomática e, consequentemente, na redução da absorção de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, espécies que alcançam maior EUA apresentam taxa de crescimento reduzido e tem sua habilidade competitiva diminuída em baixas salinidades (Ball 1988, Ball e Farquhar 1984, Ball et al. 1997), como observado por Ball et al. (1997), onde plântulas de *Rhizophora stylosa* Griff apresentaram taxa de crescimento relativo menor e maior EUA do que *Rhizophora apiculata* Blume, espécie mais sensível ao sal. Como se pode observar,



espécies do mesmo gênero apresentam graus distintos de sensibilidade ao íons salinos.

Mecanismos de tolerância ao estresse foi observado na Baía de Vitória onde Falqueto et al. (2008, 2012) registraram aumento na razão  $F_v/F_m$  com acréscimo na salinidade no sedimento, observaram também que a  $F_o$  (fluorescência inicial) diminui com incremento em salinidade. É esperado que plantas submetidas a estresse hídrico, como as plantas de mangue, tenham aumento na fluorescência inicial, indicando danos aos RC do PSII e/ou danos à transferência da energia de excitação do complexo de coleta de luz ao centro de reação do PSII (Cruz et al. 2009). Contudo, a diminuição da  $F_o$  como resposta ao aumento de salinidade pode estar relacionada ao ajuste no nível de pigmentos antena ou na diminuição da eficiência na captura de excitação nos centros de reação do PSII, proporcionando menor emissão da fluorescência, essas respostas podem indicar aumento em tolerância à salinidade (Yamane et al. 1997).

### 3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no manguezal ao longo do Sistema Estuarino da Baía de Vitória. Para este trabalho, duas áreas foram escolhidas e estão localizadas nas coordenadas geográficas: latitude – 20°10,44.0”S e 20°16’31.1”S e longitude – 040°15’11.0”W e 040°20’44.0”W. A primeira encontra-se situada no manguezal do Rio Aribiri, no interior do Parque Natural Municipal Morro da Manteigueira (Vila Velha), e a outra área de estudo localiza-se na Ilha da Baleia, Área de Preservação Permanente (Vitória), na região central da Baía de Vitória defronte ao Bairro Ilha das Caieiras, situada acima da desembocadura do rio Bubu. Por dificuldade de acesso, neste manguezal delimitamos duas parcelas, mas que caracterizam estrutura similar, e no manguezal do rio Aribiri apenas uma (Fig. 3).

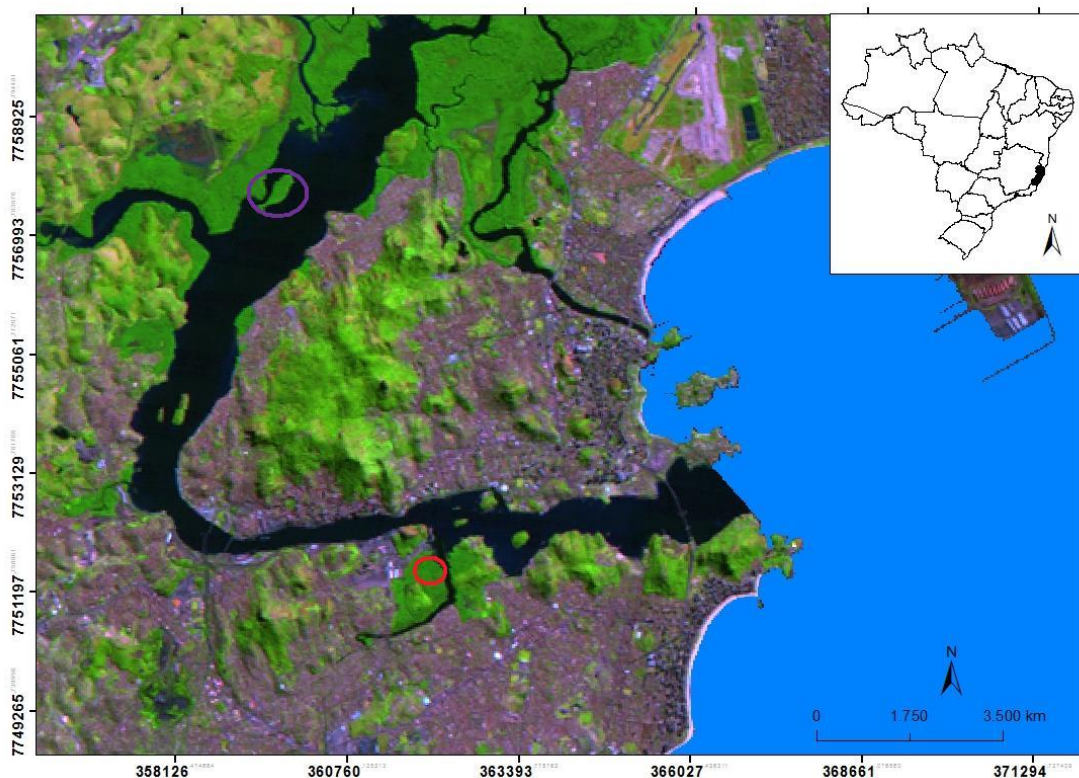


Figura 3. Localização das áreas de estudo no Sistema Estuarino da Baía de Vitória, Aribiri (Vila Velha) – círculo vermelho e Ilha da Baleia (Vitória) – círculo roxo.

#### 3.1. Sistema Estuarino da Baía de Vitória

Os estuários são ambientes costeiros de transição entre o continente e o oceano adjacente, onde a água do mar é diluída pela água doce da drenagem

continental. As forçantes ambientais que atuam nos estuários são agentes de origem local, regional e global, derivados da ação de eventos climáticos, oceanográficos, geológicos, hidrológicos, químicos, físicos e biológicos que ocorrem tanto na bacia de drenagem quanto no oceano adjacente (Miranda et al. 2002) e na interface atmosférica.

O Sistema Estuarino da Baía de Vitória – SEBV – (localizado entre 20°23'S e 040°22'W) tem extensão aproximada de 25 km sendo definido desde a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória até a Baía do Espírito Santo (Rigo 2004, Stenza e Fernandes 2006). Durante os últimos 4.000 anos, a baía tem experimentado a restrição na sua circulação, antes desse período ela apresentava conexão ampla e livre com o mar. Com a diminuição da conexão, extensas planícies lamosas se desenvolveram (Bastos et al. 2010) dando origem aos manguezais atuais.

Atualmente, o Sistema Estuarino da Baía de Vitória recebe aporte fluvial dos rios Santa Maria da Vitória (RSMV), Bubu, Itanguá, Marinho e Aribiri, na desembocadura desses rios extensas áreas de manguezal se desenvolvem. Os manguezais ao redor do SEBV estão distribuídos nos municípios de Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória (IPEMA 2010) e, segundo dados do IBGE (2013), a região comporta uma população de cerca de 1.500.392 habitantes.

O SEBV, segundo Rigo (2004), tem dinâmica dominada pelas marés, sendo estas classificadas como regime de micromarés com frequência semidiurnas, i.e. < 2 m (DHN 2013). A precipitação anual para o município de Vitória com série temporal entre os anos de 1976 a 2012 é de 1380 mm, os meses mais chuvosos se estendem de outubro a março e os meses secos vão abril a setembro (INCAPER 2013). A precipitação varia 50 a 200 mm por mês e a temperatura mensal varia de 21 a 28°C (Fernandes et al. 2005)

O Sistema Estuarino da Baía de Vitória apresenta dois canais de comunicação com o mar: o Canal da Passagem e o Canal de Acesso ao Porto que deságuam na Baía do Espírito Santo. O Canal de Acesso ao Porto na verdade é a porção sul da Baía de Vitória (Rigo 2004, Veronez et al. 2009). A largura da Baía de Vitória varia desde 1,6 km na região da Ilha das Caieiras até 160 metros na região do Porto de Vitória (Rigo 2004). Segundo Veronez et al. (2009), a profundidade do canal varia desde 4 metros no canal próximo a foz do RSMV até 12,5 m no Canal do Porto. A

profundidade no Canal do Porto é mantida de forma artificial como resultado das dragagens realizadas para permitir o acesso de navios ao Porto de Vitória.

Três processos sedimentares foram identificados na Baía de Vitória, no estuário superior há aporte de sedimento fluvial e predomínio de processos fluviais, a região central apresentou características erosivas relacionadas às adaptações morfológicas de fundo e aumento das correntes, devido estreitamento da baía, porém grande parte dessa região esta mascarada por intervenções antrópicas. No estuário inferior foi identificado domínio de processos marinhos (Veronez et al. 2009).

Os levantamentos de campo no que diz respeito à distribuição de salinidade no SEBV realizados entre os anos de 1997 e 2000 apontam diminuição neste parâmetro à medida que se aproxima do Rio Santa Maria da Vitória, no estuário superior. A salinidade alcança valores mínimos próximos a desembocadura do RSMV, em torno de 5, e máximos na desembocadura do rio Aribiri no Canal de Acesso ao Porto, atingindo concentrações de até 36 (Jesus et al., 2004, Fernandes et al. 2005, Nalesso et al. 2005, Sterza e Fernandes 2006).

Comparando a salinidade na camada superficial com aquela próxima ao fundo, esta apresenta maiores valores, indicando entrada da cunha salina na parte inferior da coluna d'água (Nalesso et al. 2005). Os valores de salinidade obtidos próximos aos bosques de manguezal avaliados variaram de 23 a 36 para a desembocadura do rio Aribiri e de 19 a 27 na desembocadura do rio Bubu, na camada superficial (Fernandes et al. 2005, Nalesso et al. 2005, Sterza e Fernandes 2006).

A salinidade intersticial do sedimento entre os anos de 2012 e 2013, mensurada por Zamprogno (dados não publicados) foi de 24 no manguezal do rio Aribiri e 18,5 no manguezal de Cariacica próximo a Ilha.

### **3.2. Manguezal**

No Brasil, os manguezais se estendem desde o Amapá até Santa Catarina, abrangendo uma área de cerca de 25.000 km<sup>2</sup> (Schaeffer-Novelli et al. 2000). No Estado do Espírito Santo, eles ocupam uma área aproximada de 70 km<sup>2</sup>, se estendendo desde Riacho Doce, no extremo norte do estado, até o Rio Itabopoana, divisa com o Estado do Rio de Janeiro (Silva et al. 2005). Dentro das classificações

de segmentos costeiros adotadas por Schaeffer-Novelli et al. (1990), esse segmento se encontra na classificação VI, entre o Cabo de Santo Antônio, no Recôncavo Baiano, BA e Cabo Frio, RJ. Esse segmento possui precipitação e evapotranspiração potencial similares, sem apresentar uma marcada estação seca.

Os manguezais ao redor do SEBV constituem uma área de proteção denominada de Mosaico de Áreas Protegidas do Manguezal da Baía de Vitória que compreende Unidades de Conservação e áreas protegidas dos municípios de Cariacica, Vila Velha e Vitória (Decreto N° 2625-R, de 23 de novembro de 2010). O município da Serra até a publicação do Documento Técnico ainda não tinha nenhuma área protegida, contudo a proposta de criação de Unidade de Conservação protegendo o manguezal, restinga e apicum, já havia sido aprovada pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IPEMA 2010).

O Mosaico de Áreas Protegidas do Manguezal da Baía de Vitória é composto pelas seguintes Unidades de Conservação, sob a gestão das Secretarias de Meio Ambientes dos seus respectivos municípios: Cariacica, Reserva do Desenvolvimento Sustentável do Manguezal de Cariacica e Parque Natural Municipal do Itanguá; Vila Velha, Parque Natural Municipal Morro da Manteigueira e Monumento Natural Morro do Penedo; e Vitória, Estação Ecológica Municipal Ilha do Lameirão e Parque Natural Municipal Dom Luiz Gonzaga Fernandes (IPEMA 2010).

A Ilha da Baleia, localizada no interior da Baía de Vitória, compreende uma área de 134.396,18 m<sup>2</sup> é uma Área de Preservação Permanente do município de Vitória, criada pela Lei N° 4.438/97. O manguezal do rio Aribiri pertence ao Parque Natural Municipal Morro da Manteigueira (Vila Velha) criado no ano de 2003 pela Lei N° 4105/2003 (IPEMA 2010).

No Espírito Santo, como o restante da costa leste do Brasil, ocorrem quatro espécies de mangue verdadeiro, que são *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* (Lima 2011). Apesar da extensão e importância ecológica e econômica do ecossistema, trabalhos básicos são escassos na região. A respeito de levantamento estrutural dos bosques de mangue há os trabalhos realizados por Carmo et al. (2010) e Lima (2011). No trabalho de Lima (2011), a autora correlaciona desenvolvimento estrutural com frequência de inundação da maré em áreas de manguezal ao redor da Baía de Vitória. Com relação à produtividade Falqueto et al. (2008 e 2012) correlacionam

eficiência fotoquímica dos manguezais, *L. racemosa* e *R. mangle* com aumento em salinidade do substrato. Zamprogno et al. (2012) realizaram estudos sobre biometria das folhas das espécies *A. schaueriana*, *L. racemosa* e *R. mangle*.

Ao analisar imagens de satélite, Almeida et al. (2007) observaram a presença de áreas de apicuns no rio Bubu, no Delta do Rio Santa Maria da Vitória e na Ilha do Lameirão.

Levantamentos a respeito da fauna também são escassos, destacando o levantamento de campo e modelagem computacional para a espécie *Ucides cordatus* e levantamento de campo de espécies do gênero *Uca* (Sarmiento 2009, Góes et al. 2010, Moreira et al. 2010, Mulinari et al. sem data).

### **3.3. Impacto ambiental**

A partir da década de 60 do século passado, o Sistema Estuarino da Baía de Vitória sofreu forte degradação ambiental devido à expansão populacional, com isto houve aterros em áreas de manguezal para implantação de bairros habitacionais e industriais, para atividade portuária, além do despejo de esgotos e da instalação de tanques de cultivo (Jesus et al. 2004, IPEMA 2010). Essa perda de área foi ativa entre as décadas de 60 e 80, visto que não foi observado diminuição de áreas de manguezal entre 1980 e 2005 (Almeida et al. 2007).

Jesus et al. (2004) ao analisarem a concentração de metais pesados nos sedimentos ao redor da Baía de Vitória, encontraram valores para os elementos Cu, Pb, Mn, Zn e Hg que refletem a contribuição natural, associada à geologia local, mas que também em algumas regiões ocorrem contribuições antrópicas, provenientes dos efluentes domésticos e industriais que são despejados no Canal do Porto e no Canal da Passagem.

O complexo portuário existente na Baía de Vitória contribuiu para mudanças significantes na dinâmica local. O Canal de Porto constantemente passa por dragagens possibilitando o aumento do fluxo de maré, afetando a circulação das águas e, conseqüentemente, o modelo de deposição de sedimentos no fundo da baía (Rigo 2003). Veronez et al. (2009) destacam que o CEBV está passando por um processo de erosão devido a mudança de hidrodinâmica em seu canal central.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas no manguezal do rio Aribiri (Parcela 1) e no manguezal na Ilha da Baleia (Parcelas 2 e 3). Os dados da fluorescência da clorofila *a* foram obtidos nas Parcelas 1 e 2 e os dados de trocas gasosas nas Parcelas 1 e 3. Entretanto, dado a similaridade entre as parcelas 2 e 3, assumimos que os dados obtidos são representativos das condições do local de estudo, isto é, refletindo as menores salinidades.

### 4.1. Salinidade

Foram realizadas duas expedições, abril e setembro de 2013, para coleta de salinidade para cada área, rio Aribiri (parcela 1) e Ilha da Baleia (parcela 2 e 3). A primeira coleta ocorreu em abril de 2013 durante a maré baixa no período de sizígia, utilizou-se a sonda multiparâmetro marca Hanna modelo HI9828. Na coleta de setembro de 2013, empregou-se a sonda multiparâmetro marca Hach modelo HQ14d, durante a corrente de maré enchente no período de quadratura. Para observação da salinidade, a sonda multiparâmetro foi introduzida na água do rio próxima a parcela, com exceção da coleta de abril na Ilha, onde foram introduzidos no sedimento tubos de policloreto de polivinila (PVC) com a base tampada e perfurada nos primeiros 10 cm. Após a colocação dos tubos, aguardava-se um período para que a água intersticial do sedimento percolasse no interior dos mesmos. Ao estabilizar as leituras da salinidade eram realizadas com auxílio da sonda multiparâmetro.

### 4.2. Fluorescência transiente da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* foi medida nas Parcelas 1 e 2, entre 9 e 11 horas da manhã em abril de 2013 para as três espécies estudadas usando Fluorômetro portátil, modelo Handy PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK) com elevado tempo de resolução (10 $\mu$ s). As medições foram realizadas no segundo par de folhas, intactas e completamente expandidas, dados de fluorescência foram obtidos em cinco folhas de seis indivíduos para cada espécie, com exceção da Parcela 1, onde apenas dois indivíduos de *A. schaueriana* foram encontrados, destes, um deles teve o registro da fluorescência em 7 folhas. A

seleção de indivíduos foi realizada de forma a manter similaridade em altura e diâmetro e proximidade dentro do bosque para evitar variações significantes de condições abióticas e biológicas.

Antes das medições serem obtidas, as folhas selecionadas foram adaptadas ao escuro por um período de 30 min, permitindo a oxidação de todos os centros de reação. A intensidade de fluorescência foi medida aplicando-se um pulso de luz durante um segundo no comprimento de onda de luz vermelha (650nm) esse pulso foi saturante ( $3.000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Strasser et al. 2000). A emissão da fluorescência foi registrada no aparelho a partir de 10  $\mu\text{s}$  até 1 segundo (tempo suficiente para reduzir todos os centros de reação).

Os valores obtidos foram colocados sob uma escala de tempo logarítmica apresentando a Curva OJIP, com os seguintes pontos, O (50  $\mu\text{s}$ ), J (2ms), I (30 ms) e P (300ms). Posteriormente, conforme recomendado por Yusuf et al. (2010), a curva OJIP foi normalizada como fluorescência variável relativa [ $V_{op} = (F_t - F_o) / (F_M - F_o)$ ] e a diferença cinética entre os pontos O e P [ $\Delta V_{OP} = V_{OP(\text{tratamento})} - V_{OP(\text{controle})}$ ] foi calculada.

Os pontos O-K, O-J, O-I e I-P também foram normalizados, [ $V_{ok} = (F_t - F_o) / (F_K - F_o)$ ], [ $V_{oj} = (F_t - F_o) / (F_J - F_o)$ ], [ $V_{oi} = (F_t - F_o) / (F_I - F_o)$ ] e [ $V_{ip} = (F_t - F_i) / (F_P - F_i)$ ], contudo seus dados não são apresentados, somente a diferença cinética entre esses passos. A diferença cinética é calculada utilizando as seguintes fórmulas: [ $\Delta V_{ok} = V_{ok(\text{tratamento})} - V_{ok(\text{controle})}$ ], [ $\Delta V_{oj} = V_{oj(\text{tratamento})} - V_{oj(\text{controle})}$ ],  $V_{oi}$  [ $\Delta V_{oi} = V_{oi(\text{tratamento})} - V_{oi(\text{controle})}$ ] e  $V_{ip}$  [ $\Delta V_{ip} = V_{ip(\text{tratamento})} - V_{ip(\text{controle})}$ ] considerando como tratamento o bosque com maior salinidade (manguezal do rio Aribiri) e o controle (manguezal da Ilha), com menor salinidade. O cálculo da diferença cinética permite visualizar as bandas L e K, presentes em 100 e 300  $\mu\text{s}$  respectivamente.

#### 4.2.1. Teste JIP

A partir dos transientes OJIP, vários parâmetros bioenergéticos são derivados de acordo com as equações do Teste JIP, baseado na Teoria de Fluxo em Biomembranas, usando o programa BIOLYSER. Os registros foram: parâmetros extraídos e calculados, parâmetros de fluxos específicos expressos por centro de



reação, parâmetros de rendimento e razões de fluxos e índices de desempenho (Quadro 1).

Os parâmetros extraídos e calculados foram Área (área acima da Curva OJIP, entre  $F_o$  e  $F_m$ ),  $F_o$ ,  $F_m$  e  $F_v/F_o$ . Com relação aos fluxos específicos, ABS/RC, TR/RC, DI/RC e ET/RC, temos ABS referindo-se à absorção de fótons por moléculas de clorofilas no complexo antena. Parte dessa energia absorvida é capturada (TR) pelo centro de reação do PSII enquanto o restante é dissipado (DI) como calor ou fluorescência. Da energia capturada, parte é convertida para redução da  $Q_A$  dirigindo o transporte de elétrons (ET).

Os parâmetros de rendimento e razões de fluxos são: o rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $\phi P_o = TR/ABS = F_v/F_m$ ), o rendimento quântico máximo de de-excitação não fotoquímica ( $\phi D_o = DI/ABS$ ) e a probabilidade que uma excitação capturada mova um elétron além da  $Q_A$  ( $\Psi_o = ET/TR$ ), rendimento quântico de transporte de elétrons da  $Q_A$  para o intersistema de aceptores de elétrons ( $\phi E_o = ET/ABS$ ) e a eficiência que um elétron move os aceptores de elétrons reduzidos no intersistema para os aceptores finais do PSI ( $\delta R_o = RE_o/ET_o$ ).

Por último temos, os Índice de Desempenho ou Performance –  $PI_{ABS}$  e  $PI_{Total}$ , o primeiro utiliza os valores de RC/ABS,  $\phi P_o$  e  $\Psi_o$ ; enquanto o segundo usa o  $IP_{ABS}$  e a redução dos aceptores do PSI (Mehta et al. 2010, Yusuf et al. 2010).

Quadro 1. Fórmulas e definições dos parâmetros do Teste JIP. Adaptado a partir de Strasser et al. (2000, 2004) e Yusuf et al. (2010).

Parâmetros da fluorescência	Descrição
<i>Parâmetros extraídos e derivados</i>	
Área	Área complementar total entre a indução da curva de fluorescência e $F_m$
$F_t$	Intensidade de fluorescência no tempo $t$ após início da iluminação actínica
$F_o$	Intensidade de fluorescência mínima a 50 $\mu s$ , nessa intensidade de fluorescência todos os centros de reação estão abertos
$F_m = (F_P)$	Fluorescência máxima no passo P, quando todos os centros de reação estão fechados
$F_l$	Intensidade de fluorescência em 2 ms
$F_j$	Intensidade de fluorescência em 30 ms
$F_v/F_o$	Eficiência dos RC ativos
$V_j = (F_{2\text{ ms}} - F_o) / (F_m - F_o)$	Fluorescência variável relativa no passo J (2 ms)
$V_l = (F_{30\text{ ms}} - F_o) / (F_m - F_o)$	Fluorescência variável relativa no passo I (30 ms)
$M_o = 4 (F_{300\text{ }\mu s} - F_o) / (F_m - F_o)$	Declividade inicial (em $ms^{-1}$ ) da fluorescência transiente $V = f(t)$
<i>Fluxos específicos ou atividades expressas por centro de reação (RC)</i>	
$ABS/RC = M_o \times (1/V_j) \times (1/\phi P_o)$	Fluxo de absorção por RC ou tamanho efetivo da antena de um RC ativo
$TR_o/RC = M_o/V_j$	Fluxo de energia capturado por RC em $t = 0$
$ET_o/RC = (M_o/V_j) \times \psi_o = (M_o/V_j) \times (1 - V_j)$	Fluxo de transporte de elétrons por RC em $t = 0$
$Dl_o/RC = (ABS/RC) - (TR_o/RC)$	Dissipação de um RC ativo
<i>Rendimentos e razões de fluxo</i>	
$\phi P_o = TR_o/ABS = 1 - F_o/F_m = F_v/F_m$	Rendimento quântico máximo fotoquímico primário
$\phi E_o = \phi P_o \times \psi_o = 1 - (F_j/F_m) = ET_o/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de $Q_A$ para o intersistema de aceptores de elétrons
$\psi_o = ET_o/TR_o = 1 - V_j$	Probabilidade que um exciton capturada move um elétron na cadeia de transporte de elétrons após $Q_A$
$\delta R_o = RE_o/ET_o = (1 - V_l) / (1 - V_j)$	Probabilidade que um elétron tem de ser transportado desde os aceptores reduzidos do intersistema até o aceptor final do elétrons do FSI
$\phi D_o = Dl_o/ABS = 1 - \phi P_o = (F_o/F_m)$	Rendimento quântico máximo de de-excitação não-fotoquímica
<i>Índice de Desempenho</i>	
$PI_{abs} = (RC/ABS) \times (\phi P_o / (1 - \phi P_o)) \times (\psi_o / (1 - \psi_o))$	Índice de desempenho da absorção
$PI_{total} = (RC/ABS) \times (\phi P_o / (1 - \phi P_o)) \times (\psi_o / (1 - \psi_o)) \times (\delta R_o / (1 - \delta R_o))$	Índice de desempenho total, medindo o desempenho até os aceptores finais de elétrons do FSI

### 4.3. Trocas gasosas

Os parâmetros de trocas gasosas foram obtidos nas Parcelas 1 e 3 em julho de 2013, durante o período da manhã, entre 9 horas e 10 h e 30 min nas três espécies estudadas empregando o sistema portátil ADC, modelo LCI (ADC, BioScientific Ltd. Hoddesdon, England). As medições foram realizadas em folhas do 2º par, intactas e completamente expandidas, as trocas gasosas foram medidas em cinco folhas de cinco indivíduos de *R. mangle* e três indivíduos de *A. schaueriana* e *L. racemosa*. As

leituras foram realizadas de forma a se ter homogeneidade entre as folhas na questão da incidência de luz.

As variáveis medidas foram:

Assimilação de CO<sub>2</sub> (A);

Condutância estomática (gs);

Concentração intercelular de CO<sub>2</sub>(Ci);

Transpiração (E);

Temperatura foliar (T<sub>f</sub>); e

Temperatura do ar (T<sub>a</sub>).

A partir das medidas de A, gs e Eo, equipamento calcula a Eficiência Intrínseca no Uso da Água – EUA<sub>int</sub> (A/gs) e Eficiência Instantânea no Uso da Água – EUA<sub>ins</sub> (A/E), além da diferença de temperatura entre a folha e o ar ( $\Delta T_f - T_a$ ).

#### **4.7. Pigmentos fotossintéticos**

As folhas empregadas para a fluorescência e trocas gasosas tiveram seu par oposto coletado para a análise de clorofila *a*, *b* e carotenoides. Por questões de logística, o material coletado em campo permaneceu 48 horas resfriado e no escuro para posterior análise. A metodologia empregada para a extração e a quantificação da concentração de pigmentos fotossintéticos foi a mesma nas duas coletas de campo, diferindo no espectrofotômetro utilizado.

De cada amostra coletada, cinco discos de 0,25 cm de raio foram imersos em 5mL de dimetilsulfóxido (DMSO), em tubos escuros e vedados. Os tubos foram levados a banho-maria por 24 horas em temperatura de 75 °C. Em seguida, o material obtido em solução foi utilizado para avaliações da absorbância em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 480, 645 e 660 nm, respectivamente.

Os discos foliares, usados na extração de pigmentos fotossintéticos, foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com ventilação forçada a 60 °C por 72 horas, para obtenção de massa seca, por amostra e indivíduo.

As concentrações de clorofila *a* e *b* e dos pigmentos carotenoides foram expressas em mg.g<sup>-1</sup> de massa seca (MS) e calculadas de acordo com as equações de Arnon (1949) e Lichtenthaler (1987), conforme segue:

- Clorofila a =  $(12,7 \times A_{660} - 2,69 \times A_{645}) / (1000 \times MS) \times V$
- Clorofila b =  $(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{660}) / (1000 \times MS) \times V$
- Clorofila total =  $(20,2 \times A_{660} - 2,69 \times A_{645}) / (1000 \times MS) \times V$
- Carotenoides =  $(1000 \times A_{480} - 1,82 \times \text{Clor a} - 85,02 \times \text{Clor b}) / (198 \times V)$

Onde,

A480 = absorvância em 480 nm;

A645 = absorvância em 645 nm;

A660 = absorvância em 660 nm;

V = volume da amostra (mL); e

MS = massa seca da amostra (g).

#### 4.8. Análise estatística

O levantamento de dados foi conduzido em um delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo duas áreas de estudo, condições de baixa e elevada salinidade.

A coleção de dados para análise da fluorescência transiente da clorofila a, Teste JIP e pigmentos fotossintéticos, consistiu em seis repetições com cinco réplicas, com exceção da espécie *A. schaueriana* no sítio de maior salinidade, onde apenas duas repetições foram realizadas com cinco e sete réplicas cada, devido à falta de indivíduos na área.

Em relação às trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos foram realizadas três repetições para *A. schaueriana* e *L. racemosa* e cinco repetições em *R. mangle*, para cada repetição havia cinco réplicas. Os dados de Assimilação de CO<sub>2</sub> abaixo de zero foram excluídos, juntamente com os outros dados de trocas gasosas para a folha avaliada.

Alguns parâmetros do Teste JIP e de Trocas Gasosas não apresentaram variação normal, de forma que os parâmetros passaram por transformação matemática a fim de normalizá-los, através da seguinte fórmula:  $x = \log x + 1$ . A transformação utilizada no parâmetro de condutância estomática foi  $x = \text{raiz } x + 1$ . Em seguida, esses resultados foram submetidos à análise de variância e a diferença entre as médias comparadas com o teste de Tukey-Kramer a 5% de probabilidade.

Os dados de pigmentos fotossintéticos foram comparados entre as espécies em cada área de estudo e entre cada área de estudo para cada espécie, os resultados foram submetidos à análise de variância e a diferença entre as médias comparadas com o teste de Tukey-Kramer a 5% de probabilidade.

O programa estatístico utilizado foi InStat 3 (licença livre). As diferenças estatísticas entre as espécies em cada parcela são simbolizados por diferentes letras maiúsculas e as diferenças entre as áreas de estudo para cada espécie por diferentes letras minúsculas.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Salinidade

Os dados de salinidade coletados em cada área de estudo são descritos na Tabela 1. Os manguezais da Ilha da Baleia e do rio Aribiri apresentam diferença estatística na salinidade ( $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer), com médias em ambos os locais variando de  $20,91 (\pm 1,25)$  a  $27,13 (\pm 2,91)$ , respectivamente.

Tabela 1. Salinidade da água do rio nos bosques de manguezal na Ilha da Baleia e no rio Aribiri obtidos em abril (maré de sizígia, maré baixa) e setembro de 2013 (maré de quadratura, corrente de maré enchente). Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Mês	Horário	Ilha	Horário	Aribiri
<b>Abril</b>	11:00	$18,92 \pm 0,40$ *	11:30	$22,02$ **
<b>Setembro</b>	08:45	$19,27 \pm 0,07$	08:10	$28,86$ **
	09:30	$21,71 \pm 0,04$	09:15	$27,73 \pm 0,60$
	10:20	$21,4 \pm 0,05$	10:30	$29,04 \pm 1,68$
	11:00	$21,71 \pm 0,05$	11:30	$28,0 \pm 0,28$
	11:40	$21,58 \pm 0,07$		
	12:10	$21,8 \pm 0,0$		
	Média	$21,36 \pm 0,79$ b	Média	$28,34 \pm 0,95$ a

\*Salinidade intersticial

\*\*Uma coleta de salinidade

### 5.2. Fluorescência transiente da clorofila *a*

Os dados apresentados na Figura 4, descritos em escala logarítmica, para o intervalo de  $50 \mu s$  até  $1s$  descrevem o comportamento da intensidade da fluorescência da clorofila *a* e da fluorescência variável relativa  $[V_{op} = (F_t - F_o) / (F_M -$

$F_o$ )] entre os pontos O e P ( $V_{OP}$ ) obtidos para as espécies no manguezal da Ilha da Baleia e no rio Aribiri.

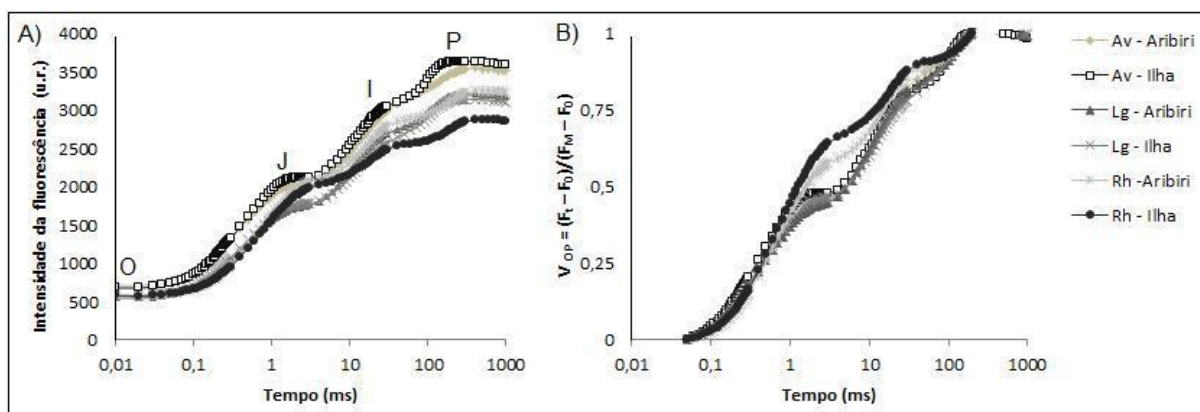


Figura 4. Dados de fluorescência transiente da clorofila *a* nos manguezais da Ilha da Baleia e rio Aribiri para *Avicennia schaueriana* (Av), *Laguncularia racemosa* (Lg) e *Rhizophora mangle* (Rh). A) - Intensidade da fluorescência; B) - Fluorescência variável relativa [ $V_{op} = (F_t - F_o) / (F_M - F_o)$ ].

Observa-se maior intensidade da fluorescência para a espécie *A. schaueriana* em ambas as parcelas (Fig. 2A). A fluorescência relativa variável entre os pontos O e P [ $V_{op} = (F_t - F_o) / (F_M - F_o)$ ] foi mais expressiva para *R. mangle* em ambas as áreas de estudo (Fig. 4B) avaliadas, principalmente no ponto J. Nota-se também que a espécie apresenta maior fluorescência variável na fase J-I.

A diferença cinética da fluorescência relativa variável entre os pontos O e P [ $\Delta V_{OP} = V_{OP} \text{ (tratamento)} - V_{OP} \text{ (controle)}$ ] estão expressos na Figura 5. Os dados obtidos na Ilha da Baleia foram considerados como controle, por esta área apresentar menor salinidade comparativamente ao manguezal rio Aribiri. *A. schaueriana* e *L. racemosa* apresentam banda positiva na fase I-P expressivas.

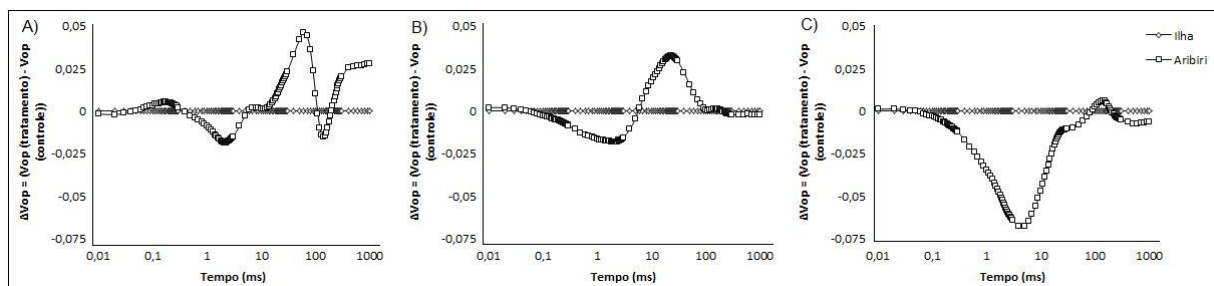


Figura 5. Diferença cinética  $V_{OP}$  [ $\Delta V_{OP} = V_{OP}(\text{tratamento}) - V_{OP}(\text{controle})$ ], em escala logarítmica, nos manguezais da Ilha da Baleia e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, respectivamente.

Os resultados de fluorescência relativa [ $V_{OK} = (F_t - F_o) / (F_K - F_o)$ ] entre os pontos O (50  $\mu\text{s}$ ) e K (300  $\mu\text{s}$ ) foram normalizados (dados não apresentados) e exibidos como diferença cinética [ $\Delta V_{OK} = V_{OK}(\text{tratamento}) - V_{OK}(\text{controle})$ ] (Fig. 6). Dentre as espécies avaliadas, apenas *A. schaueriana* apresentou banda L positiva em 150  $\mu\text{s}$ .

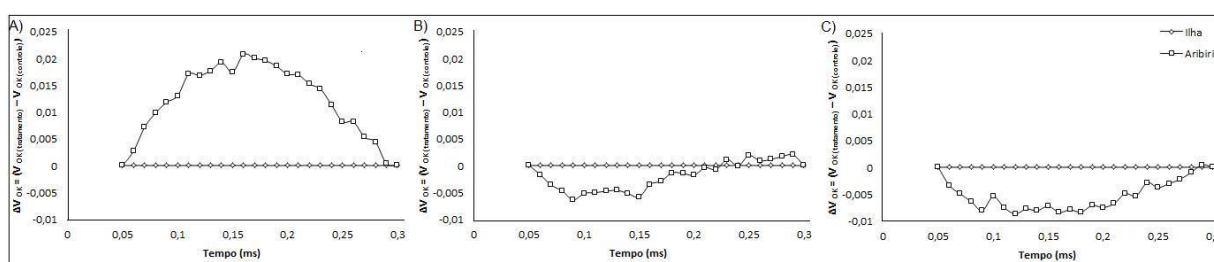


Figura 6. Diferença cinética  $V_{OK}$  [ $\Delta V_{OK} = V_{OK}(\text{tratamento}) - V_{OK}(\text{controle})$ ], em escala linear, entre os pontos O e K, nos manguezais da Ilha da Baleia e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, respectivamente.

A fluorescência relativa [ $V_{OJ} = (F_t - F_o) / (F_J - F_o)$ ] entre os pontos O (50  $\mu\text{s}$ ) e J (2ms) foram normalizadas (dados não apresentados) e expostos como diferença cinética [ $\Delta V_{OJ} = V_{OJ}(\text{tratamento}) - V_{OJ}(\text{controle})$ ]. Em cerca de 300  $\mu\text{s}$  a curva representativa da banda K ocorre de forma positiva, para as espécies *A. schaueriana* e *R. mangle*, sendo mais expressivo para a primeira espécie (Fig. 7).



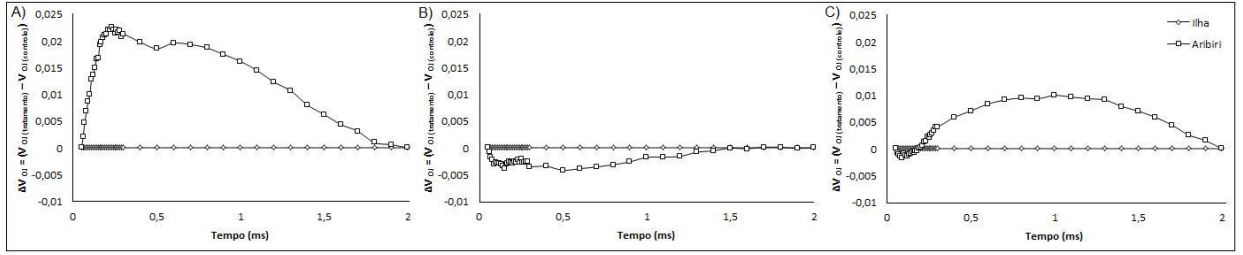


Figura 7. Diferença cinética de  $V_{OJ}$  [ $\Delta V_{OJ} = V_{OJ}(\text{tratamento}) - V_{OJ}(\text{controle})$ ], em escala linear, entre os pontos O e J, nos manguezais da Ilha da Baleia e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, respectivamente.

A diferença cinética de  $V_{OI}$  [ $\Delta V_{OI} = V_{OI}(\text{tratamento}) - V_{OI}(\text{controle})$ ] apresentou apenas bandas entre as espécies (Fig.8).

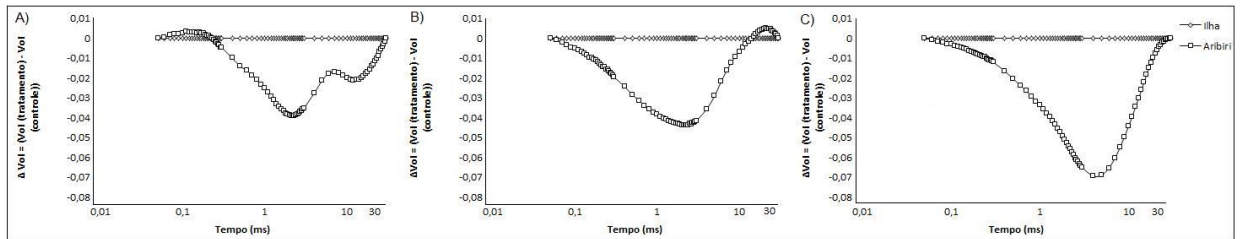


Figura 8. Diferença cinética de  $V_{OI}$  [ $\Delta V_{OI} = V_{OI}(\text{tratamento}) - V_{OI}(\text{controle})$ ], em escala logarítmica, entre os pontos O e I, nos manguezais da Ilha da Baleia e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, respectivamente.

Para a diferença cinética  $V_{IP}$  [ $\Delta V_{IP} = V_{IP}(\text{tratamento}) - V_{IP}(\text{controle})$ ] apresentada na Figura 9, observa-se que *A. schaueriana* e *R. mangle* exibiram banda positiva.

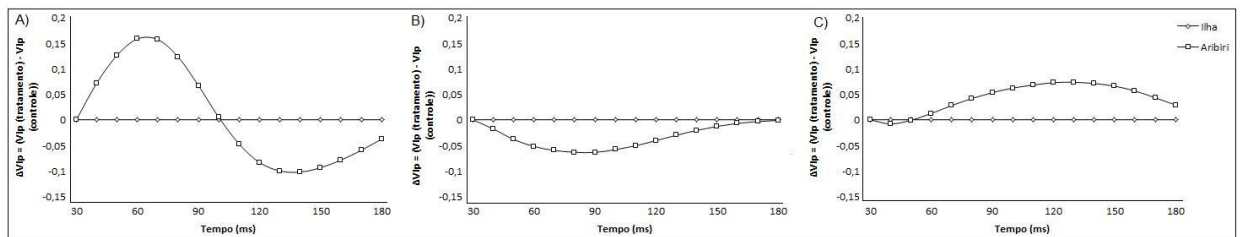


Figura 9. Diferença cinética de  $V_{IP}$  [ $\Delta V_{IP} = V_{IP}(\text{tratamento}) - V_{IP}(\text{controle})$ ], em escala linear, entre os pontos I e J, nos manguezais da Ilha da Baleia e rio Aribiri. Gráficos A, B, C representam *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, respectivamente.

### 5.2.1. Teste JIP

Os resultados do Teste JIP são apresentados na Tabela 2. Observa-se que a salinidade afetou o *pool* de plastoquinona em *L. racemosa*, com relação às outras espécies, como observado na Área acima da curva. Nota-se também, que *R. mangle* diminuiu a Área em menor salinidade. *A. schaueriana* apresentou maior valor de  $F_0$  entre todas as espécies estudadas, principalmente em maior salinidade. Na Ilha da Baleia, *R. mangle* apresentou o menor valor de  $F_m$ , já em maior salinidade *L. racemosa* apresentou menor valor em comparação as outras espécies.

Tabela 2. Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* (médias e  $\pm$  desvio padrão) deduzidos a partir de análises do Teste JIP. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Parâmetros	<i>A. schaueriana</i> Ilha	<i>A. schaueriana</i> Aribiri	<i>L. racemosa</i> Ilha	<i>L. racemosa</i> Aribiri	<i>R. mangle</i> Ilha	<i>R. mangle</i> Aribiri
<i>Parâmetros extraídos e Parâmetros calculados</i>						
Log (Área) +1	5,82 $\pm$ 0,05 Aa	5,85 $\pm$ 0,12 ABa	5,82 $\pm$ 0,05 Aa	5,80 $\pm$ 0,05 Ba	5,85 $\pm$ 0,04 Ab	5,90 $\pm$ 0,05 Aa
Log (Fo) +1	3,77 $\pm$ 0,01 Ab	3,80 $\pm$ 0,02 Aa	3,70 $\pm$ 0,02 Ba	3,68 $\pm$ 0,04 Cb	3,72 $\pm$ 0,03 Ba	3,72 $\pm$ 0,02 Ba
Log (Fm) +1	4,55 $\pm$ 0,03 Aa	4,54 $\pm$ 0,06 Aa	4,49 $\pm$ 0,03 Ba	4,50 $\pm$ 0,04 Ba	4,45 $\pm$ 0,04 Cb	4,51 $\pm$ 0,02 ABa
Log (Fv/Fo) +1	1,60 $\pm$ 0,03 ABa	1,55 $\pm$ 0,10 Bb	1,61 $\pm$ 0,02 Ab	1,65 $\pm$ 0,03 Aa	1,58 $\pm$ 0,05 Bb	1,64 $\pm$ 0,02 Aa
<i>Fluxos Específicos (RC)</i>						
Log (ABS/RC) +1	1,32 $\pm$ 0,05 Ab	1,36 $\pm$ 0,06 Aa	1,30 $\pm$ 0,03 Aa	1,29 $\pm$ 0,02 Ba	1,14 $\pm$ 0,04 Ba	1,14 $\pm$ 0,02 Ca
Log (TRo/RC) +1	1,22 $\pm$ 0,04 Aa	1,25 $\pm$ 0,04 Ca	1,20 $\pm$ 0,02 Aa	1,20 $\pm$ 0,02 Ba	1,04 $\pm$ 0,03 Ba	1,05 $\pm$ 0,02 Aa
Log (ETo/RC) +1	0,94 $\pm$ 0,02 Ab	0,98 $\pm$ 0,33 Aa	0,94 $\pm$ 0,02 Aa	0,95 $\pm$ 0,01 Ba	0,68 $\pm$ 0,03 Bb	0,73 $\pm$ 0,04 Ca
Log (Dio/RC) +1	0,62 $\pm$ 0,07 Ab	0,70 $\pm$ 0,14 Aa	0,59 $\pm$ 0,05 Aa	0,55 $\pm$ 0,05 Bb	0,46 $\pm$ 0,07 Ba	0,40 $\pm$ 0,03 Cb

*Rhizophora mangle* apresentou menor tamanho e número dos centros de reação ( $F_v/F_0$ ) em menor salinidade, em bosque mais salino, *A. schaueriana* teve esse parâmetro reduzido (Tab. 2.).

Com relação aos fluxos específicos por centro reação, *R. mangle* registrou os menores valores entre as espécies no manguezal da Ilha da Baleia. No manguezal do rio Ariribi, *A. schaueriana* exibiu os maiores valores de fluxos específicos, com exceção de  $TR_0/RC$ , *L. racemosa* e *R. mangle* os menores (Tab. 2.).

Comparando cada espécie submetida a salinidades diferentes separadamente, notou-se que há aumento nos valores de  $ABS/RC$ ,  $ET_0/RC$ ,  $DI_0/RC$  com a salinidade em *A. schaueriana*. No entanto,  $TR_0/RC$  não diferiu estatisticamente. *L. racemosa*, por sua vez, não apresentou diferença estatística entre os parâmetros, com exceção de  $DI_0/RC$ , que diminuiu com a salinidade. *R. mangle* apresenta o mesmo padrão que *L. racemosa*, alterando apenas o parâmetro  $ET_0/RC$  que aumenta com a salinidade (Tab. 2.).

Com relação aos parâmetros de rendimento, a eficiência quântica máxima da fotoquímica primária do FSII ( $\phi P_0 = TR_0/ABS = F_v/F_m$ ) na Ilha da Baleia foi maior em *A. schaueriana* e *L. racemosa* e no manguezal do rio Ariribi o maior valor foi para *L. racemosa* e *R. mangle* (Tab. 3).

Observou-se maior transferência de elétrons além da Quinona A na Ilha em *L. racemosa* ( $\Psi_0 = ET_0/TR_0$  e  $\phi E_0 = ET_0/ABS$ ) e *A. schaueriana* ( $\phi E_0 = ET_0/ABS$ ). No manguezal do rio Ariribi, as mesmas espécies apresentaram maior transferência de elétrons além da Quinona A em comparação à *R. mangle*. No entanto, a eficiência que um elétron move os aceptores de elétrons reduzidos no intersistema para os aceptores finais do PSI ( $\delta R_0 = RE_0/ET_0$ ) foi maior para *L. racemosa* e *R. mangle* em menores salinidades e não diferiu estatisticamente entre as espécies no manguezal do rio Ariribi.

Tabela 3. Parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* (médias e  $\pm$  desvio padrão) deduzidos a partir de análises do Teste JIP. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Parâmetros	<i>A. schaueriana</i> Ilha	<i>A. schaueriana</i> Aribiri	<i>L. racemosa</i> Ilha	<i>L. racemosa</i> Aribiri	<i>R. mangle</i> Ilha	<i>R. mangle</i> Aribiri
<i>Rendimento e Razões de fluxo</i>						
<b>Log (<math>\Phi P_o =</math> Tro/ABS) +1</b>	0,90 $\pm$ 0,008 ABa	0,89 $\pm$ 0,02 Bb	0,90 $\pm$ 0,005 Ab	0,91 $\pm$ 0,006 Aa	0,89 $\pm$ 0,01 Bb	0,91 $\pm$ 0,004 Aa
<b>Log (<math>\Psi_o =</math> ETo/Tro) +1</b>	0,71 $\pm$ 0,03 Ba	0,72 $\pm$ 0,06 Aa	0,74 $\pm$ 0,03 Aa	0,75 $\pm$ 0,02 Aa	0,64 $\pm$ 0,04 Cb	0,68 $\pm$ 0,03 Ba
<b>Log (<math>\Phi E_o =</math> ETo/ABS) +1</b>	0,62 $\pm$ 0,03 Aa	0,61 $\pm$ 0,09 Ba	0,64 $\pm$ 0,03 Ab	0,66 $\pm$ 0,02 Aa	0,54 $\pm$ 0,05 Bb	0,59 $\pm$ 0,04 Ba
<b>Log (<math>\Phi D_o =</math> DIo/ABS) +1</b>	0,30 $\pm$ 0,03 ABb	0,34 $\pm$ 0,07 Aa	0,28 $\pm$ 0,02 Ba	0,25 $\pm$ 0,02 Bb	0,31 $\pm$ 0,03 Aa	0,26 $\pm$ 0,02 Bb
<b>Log (<math>\delta R_o =</math> REo/ETo) +1</b>	0,58 $\pm$ 0,04 Ba	0,56 $\pm$ 0,05 Aa	0,61 $\pm$ 0,03 Aa	0,53 $\pm$ 0,05 Ab	0,59 $\pm$ 0,04 ABa	0,55 $\pm$ 0,03 Ab
<i>Índice de Performance ou Desempenho</i>						
<b>Log (IP<sub>ABS</sub>) +1</b>	2,31 $\pm$ 0,14 Ba	2,25 $\pm$ 0,28 Ba	2,40 $\pm$ 0,11 Ab	2,48 $\pm$ 0,10 Aa	2,33 $\pm$ 0,15 ABb	2,48 $\pm$ 0,10 Aa
<b>Log (IP<sub>total</sub>) +1</b>	2,11 $\pm$ 0,18 Ba	2,01 $\pm$ 0,24 Ba	2,25 $\pm$ 0,12 Aa	2,20 $\pm$ 0,15 Aa	2,14 $\pm$ 0,12 Bb	2,23 $\pm$ 0,13 Aa

A eficiência máxima de de-excitação não fotoquímica ( $\Phi D_o = DI_o/ABS$ ) foi maior em *R. mangle* na Ilha da Baleia seguida de *A. schaueriana*, no manguezal do rio Aribiri *A. schaueriana* apresentou maior valor neste parâmetro.

*L. racemosa* e *R. mangle* apresentaram maior  $PI_{abs}$  em ambas as áreas de estudo. Na Ilha da Baleia, o  $PI_{total}$  foi mais elevado para *L. racemosa* e no manguezal do rio Aribiri esta espécie apresentou maior valor juntamente com *R. mangle*.

Analisando os parâmetros de rendimento em cada espécie separadamente, nota-se que  $\Phi P_o = Tr_o/ABS = F_v/F_m$  diminuiu com a salinidade para *A. schaueriana* e aumenta nas outras duas espécies. Apenas *R. mangle* ampliou seu  $\Psi_o = ET_o/TR_o$  com a salinidade, no entanto, ela e *L. racemosa* tiveram acréscimo de  $\Phi E_o = ET_o/ABS$  com a salinidade. *A. schaueriana* incrementou a dissipação de energia, como observado no parâmetro  $\Phi D_o = DI_o/ABS$ , com a salinidade, em contrapartida,

as outras espécies têm comportamento oposto. Em relação aos Índices de Desempenho, *L. racemosa* e *R. mangle* incrementam seu  $PI_{abs}$  com a salinidade, entretanto, somente *R. mangle* registra aumento do  $PI_{total}$  com maior conteúdo salino.

### 5.2.2. Pigmentos fotossintéticos

*L. racemosa* apresentou maior concentração de clorofila *a* e *b* e clorofila total em ambos os locais de estudo. Os pigmentos carotenoides apresentaram maior concentração em *R. mangle* independente da salinidade submetida. A relação clorofila *a/b* também foi mais expressiva nessa espécie e em *A. schaueriana* submetida a maior salinidade.

A comparação das espécies separadamente permitiu observar aumento em concentração de clorofila *a* e clorofila total com a salinidades em *L. racemosa* e *R. mangle*. *A. schaueriana* apresentou diminuição em clorofila *b* com aumento em salinidade. A relação clorofila *a/b* se ampliou com a salinidade para todas as espécies.

A concentração de pigmentos carotenoides aumentou com a salinidade para *A. schaueriana* e *L. racemosa* e *R. mangle* apresentaram padrão inverso.

Tabela 4. Concentração de pigmentos fotossintéticos (médias e  $\pm$  desvio padrão) para *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* nos manguezais da Ilha da Baleia e do rio Aribiri (abril de 2013). Dados com letras diferentes indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Espécies	<i>A. schaueriana</i> Ilha	<i>A. schaueriana</i> Aribiri	<i>L. racemosa</i> Ilha	<i>L. racemosa</i> Aribiri	<i>R. mangle</i> Ilha	<i>R. mangle</i> Aribiri
Clorofila <i>a</i> (mg.g <sup>-1</sup> MS)	3,64 $\pm$ 0,97 Ba	4,01 $\pm$ 1,19 Ba	4,61 $\pm$ 1,07 Ab	6,28 $\pm$ 2,04 Aa	4,09 $\pm$ 0,59 ABb	4,55 $\pm$ 0,92 Ba
Clorofila <i>b</i> (mg.g <sup>-1</sup> MS)	2,25 $\pm$ 0,57 Ba	1,42 $\pm$ 0,28 Bb	2,94 $\pm$ 0,9 Aa	3,1 $\pm$ 1,12 Aa	2,11 $\pm$ 1,08 Ba	1,89 $\pm$ 1,2 Ba
Clorofila total (mg.g <sup>-1</sup> MS)	5,99 $\pm$ 1,6 Ba	6,59 $\pm$ 1,94 Ba	7,68 $\pm$ 1,76 Ab	10,39 $\pm$ 3,37 Aa	6,77 $\pm$ 0,99 ABb	7,5 $\pm$ 1,53 Ba
Carotenoides (mg.g <sup>-1</sup> MS)	0,08 $\pm$ 0,05 Cb	0,17 $\pm$ 0,07 Ca	0,39 $\pm$ 0,11 Ba	0,26 $\pm$ 0,1 Bb	0,45 $\pm$ 0,08 Aa	0,37 $\pm$ 0,07 Ab
Relação clorofila <i>a/b</i>	1,61 $\pm$ 0,18 Bb	2,77 $\pm$ 0,48 Aa	1,62 $\pm$ 0,29 Bb	2,07 $\pm$ 0,4 Ba	2,20 $\pm$ 0,63 Ab	2,74 $\pm$ 0,65 Aa

### 5.3. Trocas gasosas

Os resultados obtidos nas análises de trocas gasosas para a Ilha da Baleia são exibidos na Figura 10. As espécies não apresentaram diferença estatística de assimilação fotossintética entre si, apesar da concentração de carbono interno ser maior em *L. racemosa* e *R. mangle* em relação à *A. schaueriana*. Observou-se maior Eficiência Intrínseca e Instantânea no Uso da Água em *A. schaueriana* e *R. mangle*.

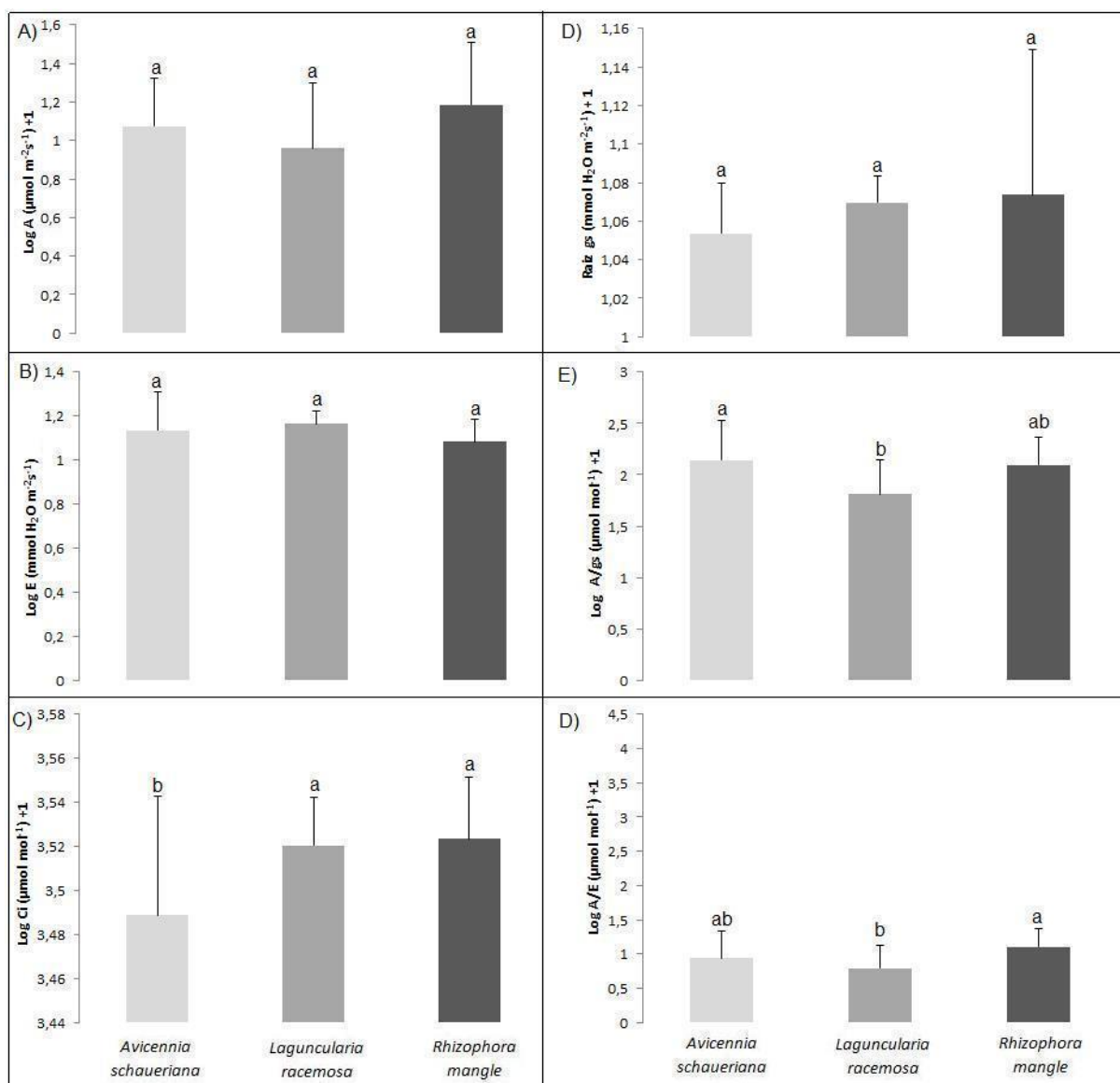


Figura 10. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) nas espécies *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* no manguezal da Ilha da Baleia. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Observamos diferença significativa quando comparamos a assimilação fotossintética entre as espécies com o aumento da salinidade com *A. schaueriana* apresentando maior assimilação de carbono e *R. mangle* a menor no manguezal do rio Aribiri (Fig. 11). *A. schaueriana* e *R. mangle* apresentaram os maiores valores de transpiração, carbono interno e condutância estomática. Os valores de Eficiência Intrínseca e Instantânea no Uso da Água foram mais elevados para *A. schaueriana* e *L. racemosa*.

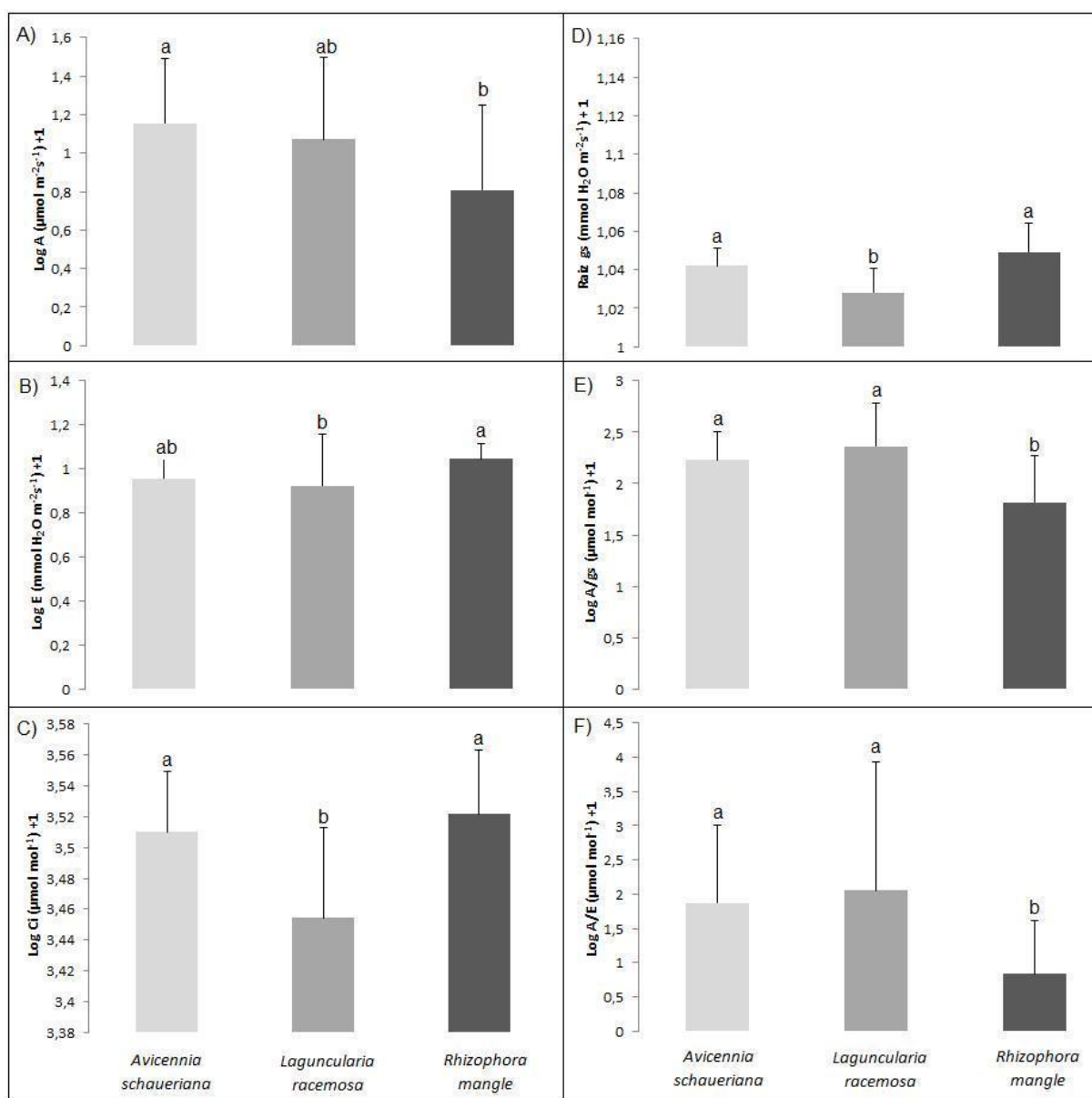


Figura 11. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) nas espécies *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* no manguezal da rio Aribiri. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Os resultados obtidos nas análises de trocas gasosas para *A. schaueriana* são apresentados na Figura 12. Nota-se que entre os tratamentos não houve diferença estatística dos parâmetros avaliados, com exceção para a transpiração.

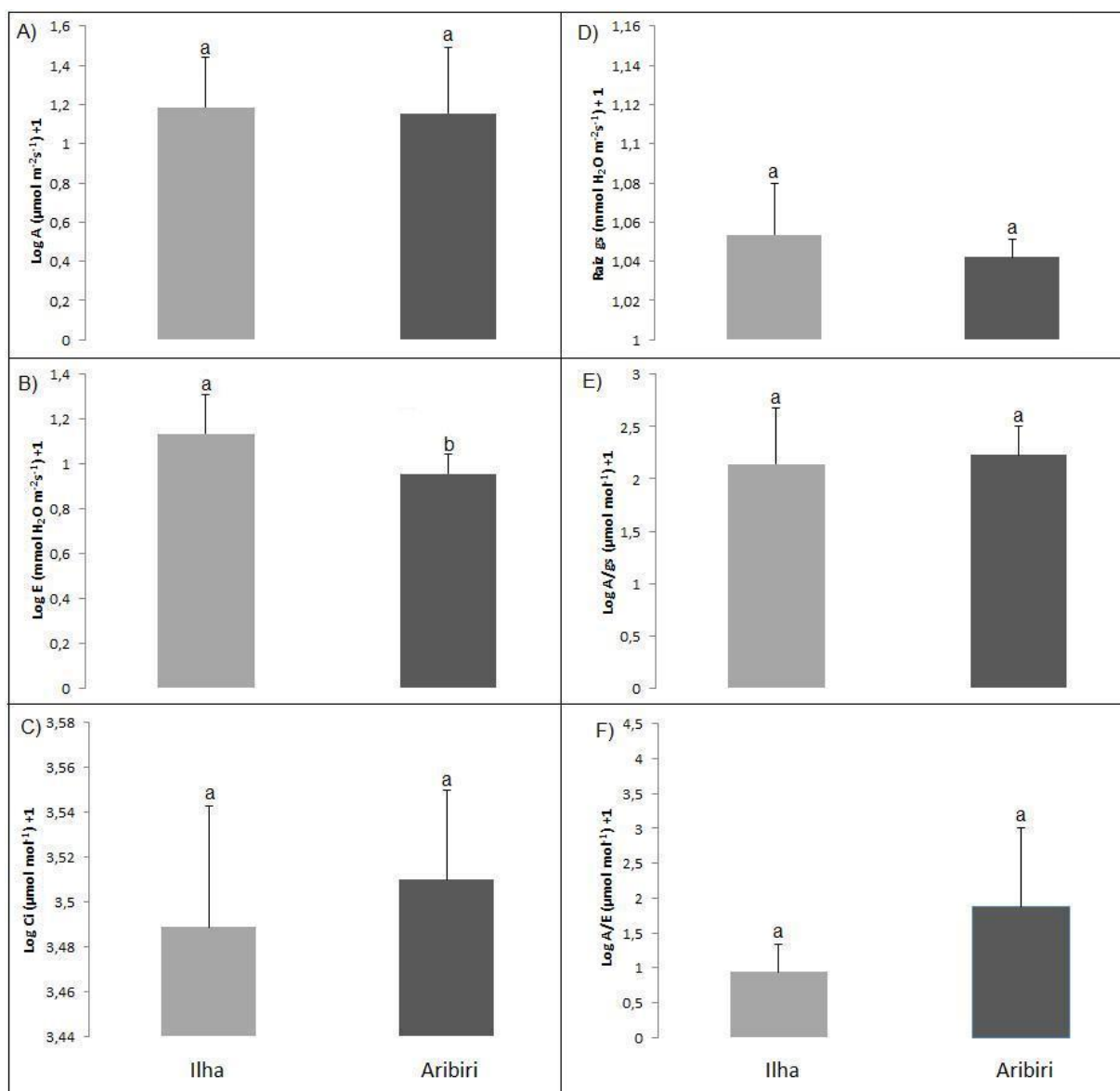


Figura 12. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) medidos para *Avicennia schaueriana*. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

*L. racemosa* registrou maior perda de água na Ilha da Baleia, como observado nos parâmetros de transpiração (E) e condutância estomática ( $g_s$ ), o que levou a espécie a exibir menor Eficiência no Uso da Água (EUA) em condições de menor salinidade (Fig. 13). Embora tenha maior condutância estomática e concentração de



carbono interno nessas condições, a espécie não apresenta maior assimilação de CO<sub>2</sub>, como observado na Figura 13.

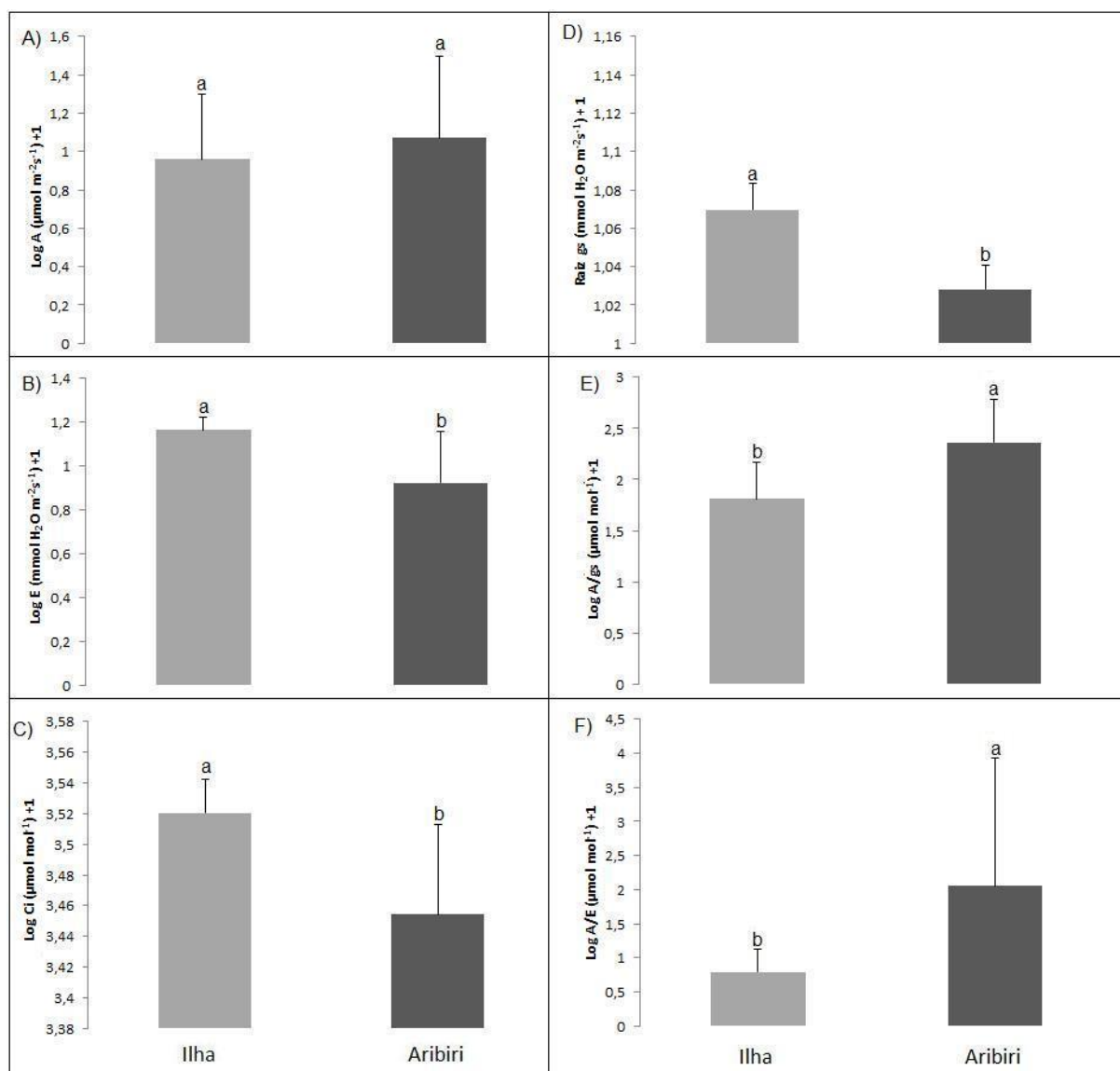


Figura 13. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) medidos para *Laguncularia racemosa*. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Dentre as espécies estudadas apenas *R. mangle* apresentou diferença na assimilação de CO<sub>2</sub> entre as áreas de estudo, exibindo maior assimilação fotossintética em menor salinidade. O aumento em salinidade foi responsável pela diminuição em EUA como visto na Figura 14.

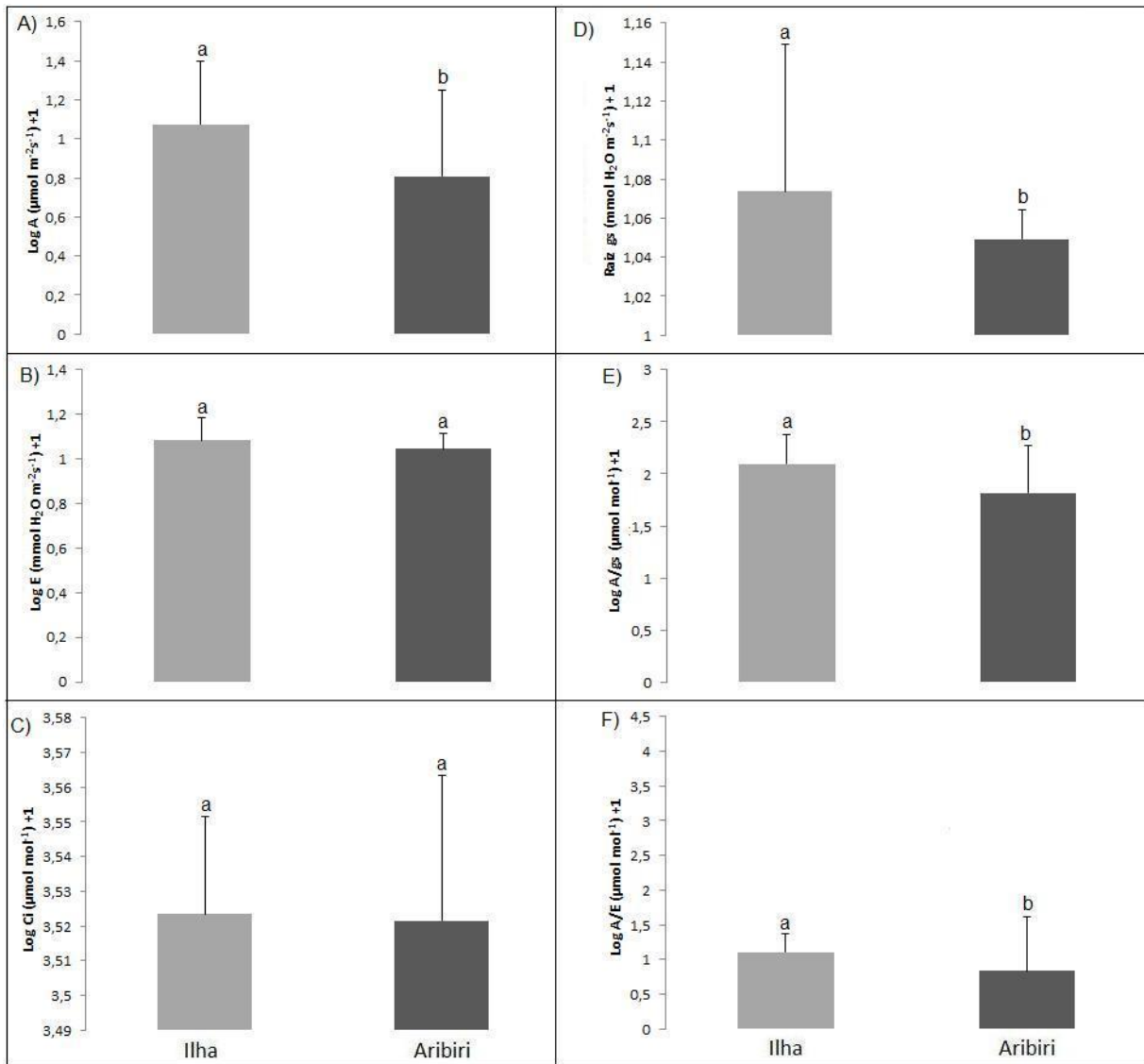


Figura 14. Parâmetros de trocas gasosas (média e  $\pm$  desvio padrão) medidos em *Rhizophora mangle*. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Ao avaliar a diferença de temperatura entre a folha e a atmosfera por espécie e por área de estudo, observa-se que *L. racemosa* apresentou maior diferença em temperatura com relação às outras duas espécies nas condições de maior salinidade (Tab. 5).

Tabela 5. Diferença de temperatura (média e  $\pm$  desvio padrão) entre as folhas de *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* e a atmosfera ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os bosques da Ilha da Baleia e do Rio Aribiri. Dados com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Espécies	<i>A. schaueriana</i> Ilha	<i>A. schaueriana</i> Aribiri	<i>L. racemosa</i> Ilha	<i>L. racemosa</i> Aribiri	<i>R. mangle</i> Ilha	<i>R. mangle</i> Aribiri
$\Delta T_{\text{ar-T foliar}} (^{\circ}\text{C})$	0,20 Ab	1,41 Ba	0,28 Ab	4,02 Aa	0,17 Ab	1,66 Ba

### 5.3.1. Pigmentos fotossintéticos

A Tabela 6 contém os valores da concentração de pigmentos fotossintéticos para cada espécie e área de estudo que são resultados das folhas coletadas na ocasião do experimento de trocas gasosas. Em ambas as áreas de estudo, *L. racemosa* apresentou maior concentração de pigmentos fotossintéticos seguida de *R. mangle*. *A. schaueriana* registrou a maior relação clorofila *a/b* independente da salinidade. Nota-se que há maior concentração de clorofila nas amostras provenientes do manguezal do rio Aribiri para as três espécies e que ocorre redução na concentração de pigmentos carotenoides com ampliação da salinidade para *L. racemosa* e *R. mangle*.

Tabela 6. Concentração de pigmentos fotossintéticos no manguezal da Ilha da Baleia e no rio Aribiri em julho de 2013. Valores são médias das amostras e  $\pm$  desvio padrão. Dados (média e desvio padrão) com diferentes letras indicam significância em  $p < 0,05$ , Teste de Tukey-Kramer.

Espécies	<i>A. schaueriana</i> Ilha	<i>A. schaueriana</i> Aribiri	<i>L. racemosa</i> Ilha	<i>L. racemosa</i> Aribiri	<i>R. mangle</i> Ilha	<i>R. mangle</i> Aribiri
Clorofila <i>a</i> (mg.g <sup>-1</sup> MS)	3,62 $\pm$ 1,15 Bb	4,53 $\pm$ 1,5 Ca	3,47 $\pm$ 0,81 Bb	7,4 $\pm$ 1,52 Aa	4,68 $\pm$ 0,52 Ab	6,01 $\pm$ 1,04 Ba
Clorofila <i>b</i> (mg.g <sup>-1</sup> MS)	1,53 $\pm$ 0,39 Bb	2,14 $\pm$ 0,31 Ca	2,48 $\pm$ 0,5 Ab	4,89 $\pm$ 0,75 Aa	2,38 $\pm$ 0,17 Ab	2,78 $\pm$ 0,5 Ba
Clorofila total (mg.g <sup>-1</sup> MS)	5,97 $\pm$ 1,89 Bb	7,49 $\pm$ 1,72 Ca	5,79 $\pm$ 1,35 Bb	12,33 $\pm$ 2,51 Aa	7,74 $\pm$ 0,85 Ab	9,93 $\pm$ 1,72 Ba
Carotenoides (mg.g <sup>-1</sup> MS)	0,20 $\pm$ 0,07 Ca	0,15 $\pm$ 0,04 Ca	0,66 $\pm$ 0,15 Aa	0,55 $\pm$ 0,07 Ab	0,49 $\pm$ 0,05 Ba	0,31 $\pm$ 0,06 Bb
Relação clorofila <i>a/b</i>	2,33 $\pm$ 0,26 Aa	2,12 $\pm$ 0,39 Aa	1,38 $\pm$ 0,19 Ca	1,5 $\pm$ 0,16 Ba	1,96 $\pm$ 0,14 Bb	2,17 $\pm$ 0,22 Aa

## 6. DISCUSSÃO

Desde a década de 1960 há um empenho de inúmeros pesquisadores de todo o mundo em entender os processos ecofisiológicos a respeito das diferentes espécies de manguezal e que podem ser responsáveis por padrões zonais nas áreas de mangue (Scholander 1962, Ball 1988, Medina 1999, Martin et al. 2010). O estudo da fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas permitem observar diferentes respostas fisiológicas das espécies submetidas a estresses bióticos e a abióticos.

A curva OJIP é sensível a fatores de estresse ambiental o que torna possível a identificação da atuação destes sobre a estrutura e o funcionamento do PSII. Essa análise é permitida pela elaboração das curvas derivadas caracterizadas pela Intensidade da Fluorescência e pelos parâmetros do Teste JIP (Strasser et al. 2000, Strasser et al. 2004). Em relação ao estresse salino, este envolve os componentes osmótico e iônico que afetam o centro de reação do PSII e capacidade de reoxidar  $Q_A$  (Mehta et al. 2010), além de comprometer a absorção de  $CO_2$  por via estomática, resultando na diminuição da assimilação fotossintética (Naidoo et al. 2002).

Os dados de salinidade apontam o manguezal do rio Aribiri como aquele com maior salinidade comparativamente ao do manguezal da Ilha da Baleia, como observado na literatura (Jesus et al., 2004, Fernandes et al. 2005, Nalesso et al. 2005, Sterza e Fernandes 2006, Zamprogno dados não publicados).

Pela análise da fluorescência variável relativa entre os pontos O e P observa-se maior sensibilidade para *R. mangle*, com relação as outras espécies, referente ao passo J e entre a fase J-I, indicando que esta espécie têm menor capacidade de reoxidar  $Q_A^-$ , ou seja, há um acúmulo em  $Q_A^-$ , além de indicar progressiva redução no transporte de elétrons a partir do *pool* da plastoquinona no intersistema (Tóth et al. 2007, Mehta et al. 2010). Curiosamente, os indivíduos submetidos às condições do manguezal do rio Aribiri (maior salinidade) apresentam maior rendimento da fluorescência, podendo indicar, nesse caso, maior tolerância à salinidade. Uma outra suposição seria que as variações diárias nas condições salinas são menores neste bosque do que na Ilha da Baleia, tornando estes indivíduos menos sujeitos a ampla variação nas condições iônicas e osmóticas ao longo do dia.

A diferença cinética permitiu a visualização das bandas L e K, as quais, segundo Oukarroum et al. (2009) podem surgir como resposta ao estresse salino. A

banda L (150  $\mu$ s) está relacionada à transferência de energia entre o complexo antena e o centro reação. Quanto melhor for a transferência de energia – conectividade energética, mais eficiente será a utilização de energia de excitação (Yusuf et al. 2010). A presença da banda L positiva sugere uma redução em conectividade entre unidades do FSII (LHC II e RC), quanto maior a banda L, menor é a conectividade, sendo esta sensível ao desempilhamento dos tilacoides (Yusuf et al. 2010, Bacarin et al. 2011). Parida et al. (2003) observaram para algumas espécies dos manguezais perda de empilhamento dos tilacoides em salinidade elevadas. No presente trabalho apenas *A. schaueriana* apresentou a banda L positiva no manguezal do rio Aribiri, sugerindo que os indivíduos desta espécie estão sujeitos a uma redução na conectividade entre o LHC II e RC.

O aparecimento da banda K positiva foi observado em *A. schaueriana* e *R. mangle*, tendo a primeira espécie registrado a banda positiva de maior amplitude. A banda K ocorre em situações de desequilíbrio entre o lado doador ( $Y_z$ ) e receptor do PSII ( $Q_A$ ), que estão ligados à dissociação do complexo de evolução do oxigênio que usa o manganês como cofator para oxidação da água (Yusuf et al. 2010, Strasser et al. 1997 *apud* Adamski et al. 2011). Uma possível explicação seria a desagregação dos íons Mg devido aos efeitos do NaCl, como *L. racemosa* é uma espécie bastante eficiente na compartimentação de sais, apresentaria vantagens em relação as demais espécies estudadas.

Estudos de Joliot e Joliot (2002) e Mehta et al. (2010) apontam que a Área entre  $F_o$  e  $F_m$  é proporcional ao *pool* de plastoquinona. Em casos onde a transferência de elétrons a partir do centro de reação é interrompida a Área é drasticamente reduzida. Observou-se o menor valor para esse parâmetro em *Laguncularia racemosa* no manguezal do rio Aribiri, sugerindo para esta espécie que o estresse salino inibe a transferência de elétrons a partir dos centros de reação (Mehta et al. 2010). Ao contrário de *L. racemosa*, *R. mangle* aumenta o valor da Área com a salinidade, indicando que a área mais salina é mais propícia para a espécie em questão, tendência observada por Falqueto et al. (2008, 2012), *R. mangle* pode ter apresentado essa tendência por diminuir a concentração de sais no interior da planta através do processo de ultrafiltração realizado nas raízes (Scholander 1962, Tomlinson 1986). No presente estudo observou-se que a Área

diminuiu simultaneamente a  $F_m$ , devido ao acúmulo de  $P680^+$  por inibição do transporte de elétrons no lado doador do PSII e diminuição no *pool* da  $Q_A^-$  (Mehta et al. 2010).

Independente da área de estudo, *A. schaueriana* apresentou o maior valor da fluorescência inicial ( $F_0$ ) dentre as espécies estudadas, principalmente no manguezal de maior salinidade (rio Aribiri). Aumento  $F_0$  em pode estar relacionado à separação do LHCII do RC do FSII e também à inativação do RC do FSII, possivelmente em função da diminuição do potencial hídrico foliar (Yamane et al. 1997, Tóth et al. 2007, Cruz et al. 2009). Contradizendo os resultados observados para os parâmetros Área e  $F_m$ , *L. racemosa* apresentou redução em  $F_0$  com a salinidade. Este resultado é um indicativo do aumento da tolerância da espécie à salinidade, como previamente observado por Falqueto et al. (2008, 2012) na Baía de Vitória.

O aumento do número e tamanho dos centros de reação ativos com a salinidade –  $F_v/F_0$  (Mendonza et al. 2009) para *R. mangle* implica em tolerância à salinidade estando de acordo com o observado nos parâmetros discutidos acima. Ao contrário do comportamento observado por *R. mangle*, *A. schaueriana* apresenta menor valor de  $F_v/F_0$  no bosque mais salino. Esse parâmetro, quando relacionado ao parâmetro ABS/RC, indica danos à antena e aos centros de reação, pois maior absorção pode sobrecarregar seus centros de reação visto que  $F_v/F_0$  nessa condição é menor. O aumento em ABS/RC representa diminuição no tamanho da antena dos centros de reação ativos em maior salinidade (Mendonza et al. 2009, Mehta et al. 2010).

Apesar dos danos a antena e aos centros de reação, o parâmetro  $ET_0/RC$  acompanhou o aumento em salinidade em *A. schaueriana* sugerindo que ela não é tão sensível à salinidade, muito provavelmente devido a maior dissipação de energia absorvida, como calor ou fluorescência, como observado no parâmetro  $DI_0/RC$ . Os pigmentos carotenoides são capazes de dissipar energia, relativamente rápido, na forma de calor, através do ciclo das xantofilas (Adams e Adams 1996). Observou-se que a concentração desses pigmentos aumentou com a salinidade na espécie em questão, atuando assim como fotoprotetores.

Por meio da análise dos parâmetros de rendimento, observa-se que *L. racemosa* exibe melhor desempenho na Ilha da Baleia em detrimento das demais

espécies. Estes parâmetros são: o rendimento quântico máximo da fotoquímica primária, conhecido como  $F_v/F_m$  ( $\phi P_0 = Tr_0/ABS$ ), maior transferência de elétrons ( $\Psi_0 = ET_0/TR_0$  e  $\phi E_0 = ET_0/ABS$ ) e a probabilidade que um elétron tem de ser transportado desde os aceptores reduzidos do intersistema até o acceptor final de elétrons no FSI ( $\delta R_0$ ). Apesar de *A. schaueriana* apresentar elevado valor de  $\phi P_0$  e de  $\phi E_0$ , ela registra menores valores em  $\Psi_0$  e em  $\delta R_0$ , que podem resultar em menor produção de compostos reduzidos. Menor valor de  $\delta R_0$  indica que há outra utilização dos elétrons. Estes, por sua vez, podem estar sendo direcionados para a redução do  $O_2$  formando superóxido por meio da reação de Mehler (Schock 2012).

No manguezal do rio Aribiri, *L. racemosa* e *R. mangle* apresentam melhor desempenho com relação aos parâmetros  $\phi P_0$  e  $\delta R_0$ , apesar de *L. racemosa* ( $\Psi_0$  e  $\phi E_0$ ) e *A. schaueriana* ( $\Psi_0$ ) terem melhor resposta a transferência de elétrons. Porém nenhuma das espécies difere estatisticamente em relação a  $\delta R_0$ .

Os Índices de Desempenho ( $PI_{ABS}$  e  $PI_{total}$ ) são considerados os parâmetros mais sensíveis do Teste JIP ao estresse, pois permitem melhor detecção e quantificação do estresse do que  $F_v/F_m$ , parâmetro muito difundido na literatura (Gonçalves et al. 2010). O parâmetro  $PI_{ABS}$  considera, além de  $F_v/F_m$ , os parâmetros  $ABS/RC$  e a de probabilidade que uma excitação capturada move um elétron além da  $Q_A$  -  $\Psi_0 = ET_0/TR_0$  (Mehta et al. 2010, Yusuf et al. 2010). O  $PI_{total}$ , além de considerar os mesmos parâmetros do  $PI_{ABS}$ , pondera também a redução dos aceptores do PSI, inserindo o parâmetro  $\delta R_0$  (Yusuf et al. 2010),

*L. racemosa* e *R. mangle* encontram-se com melhor  $PI_{ABS}$  e  $PI_{total}$  em ambas as áreas de estudo, com exceção do  $PI_{total}$  nos indivíduos de *R. mangle* na Ilha.

A sensibilidade dos Índices de Desempenho é claramente observado em *A. schaueriana*, a qual apresenta diminuição em  $\phi P_0$  ( $F_v/F_m$ ) com aumento da salinidade. No entanto, os valores de  $PI_{ABS}$  e  $PI_{total}$  não diferem estatisticamente entre as parcelas.

O maior desempenho fotossintético apresentado por *L. racemosa* na Ilha da Baleia e no manguezal do Rio Aribiri demonstrado pelos parâmetros  $\phi P_0$ ,  $PI_{ABS}$  e  $PI_{total}$  pode estar relacionado à concentração de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total, o que permite melhor absorção de energia (Naidoo et al. 2011). No manguezal do rio

Aribiri, *R. mangle* exibe comportamento semelhante ao de *L. racemosa* com relação aos parâmetros do Teste JIP. No entanto, sua concentração clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total não é estatisticamente similar ao de *L. racemosa*. Seu desempenho fotossintético pode estar relacionado à sua relação clorofila *a/b* (2,74 mg.g<sup>-1</sup>). Kathiresan e Kannan (1985 *apud* Moorthy e Kathiresan 1999) postularam que a fotossíntese de manguezais é dependente da relação clorofila *a/b*.

A relação de melhor desempenho fotossintético e a concentração de pigmentos fotossintéticos ocorre também quando as espécies, *L. racemosa* e *R. mangle*, são comparadas individualmente entre as áreas de estudo, de maneira que a concentração de pigmentos, clorofila *a* e clorofila total é maior no bosque submetido a maior salinidade e o desempenho fotossintético também. Na literatura, o acréscimo em salinidade tende a levar para a diminuição da concentração dos pigmentos fotossintéticos, como observados nos trabalhos de Sobrado (1999<sup>a</sup>), Parida et al. (2003), Sudhir e Murthy (2004), Naidoo et al. (2011) e, conseqüentemente, ao menor desempenho fotossintético. Provavelmente não foram observadas essas tendências no presente estudo, pois as espécies ainda encontram-se próximo do ótimo em salinidade.

Os indivíduos de *A. schaueriana* apresentam redução da concentração de clorofila *b* no bosque com maior salinidade, implicando em redução no número de estruturas de absorção de luz, pois esse pigmento está presente apenas no complexo de coleta de luz - LHC (Moorthy e Kathiresan 1999). Essa redução em estrutura do complexo antena também é expresso pelo parâmetro ABS<sub>o</sub>/RC no manguezal do rio Aribiri.

As espécies de mangue exibem maior crescimento em condições de salinidade baixas, independente da sua tolerância aos sais. No entanto, aquelas mais tolerantes tendem a apresentar menor taxa de crescimento em relação às menos tolerantes quando em condições ótimas de salinidade (Ball 1988). Em acordo com essa afirmação, seria esperado que *R. mangle* apresentasse maior assimilação fotossintética, em relação as outras espécies estudadas, quando submetida a menor concentração salina, como aquela observada no bosque da Ilha da Baleia. No entanto, observou-se que não há diferença estatística em assimilação fotossintética entre as espécies no local de estudo.



Com relação à absorção de água pela vegetação, os resultados apontam que não há restrição à hidratação nos indivíduos da Ilha da Baleia, como observado nos parâmetros de transpiração e condutância estomática, permitindo o resfriamento evaporativo das folhas, necessário à manutenção de ganho de carbono fotossintético (Lugo et al. 2007, Barr et al. 2009).

A redução da assimilação fotossintética em maior salinidade ocorre devido a fatores estomáticos e não estomáticos (Sobrado 1999<sup>a</sup>, 1999<sup>b</sup>, 2005), porém não é claro a extensão na qual tais fatores reduzem a fotossíntese (Sobrado 1999<sup>b</sup>). Fatores estomáticos limitam a fotossíntese por diminuição da pressão de difusão do CO<sub>2</sub> para o interior da planta resultado da redução da condutância estomática, o que provoca alteração no balanço hídrico da planta – componente osmótico do estresse salino (Sobrado 1999<sup>a</sup>, 1999<sup>b</sup>, 2005, Naidoo et al. 2011). Os fatores não estomáticos estão ligados ao componente iônico do estresse e são responsáveis pela limitação na nutrição vegetal (ex., decréscimo na relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>) e pela toxicidade iônica, pois enzimas das células tanto de halófitas quanto de glicófitas são sensíveis ao sal (Ball 1986, Ball 1988, Parida et al. 2004).

O manguezal do rio Aribiri, por apresentar maior salinidade, submete as espécies a condições de menor potencial hídrico tornando evidente a diferença em tolerância interespecífica à salinidade. A assimilação fotossintética foi mais expressiva em *A. schaueriana* e menos em *R. mangle*. Por sua vez, *L. racemosa* apresentou padrão intermediário em assimilação de carbono.

A redução da assimilação de carbono em *R. mangle* no manguezal do rio Aribiri é associado aos efeitos tóxicos dos sais às enzimas e membranas celulares, além de diminuição na nutrição do vegetal, provocada pelo desequilíbrio iônico (Parida et al. 2004). Não há associação dessa redução com condutância estomática, pois esta é elevada e, conseqüentemente, a concentração de carbono interno também. Uma possibilidade de avaliação é a possível arrefecimento em condutância da parede celular ao CO<sub>2</sub>, aumentando a fotorrespiração, como já observado para *A. marina* em condições hipersalinas (Sobrado e Ball, dados não publicados *apud* Sobrado 1999<sup>a</sup>). Análises de nutrientes no sedimento local e nas folhas poderiam contribuir na avaliação da redução em assimilação fotossintética para a espécie em questão.

Normalmente, espécies de mangue mais tolerantes à salinidade exibem menores taxas de perda de água e, por conseguinte, melhor Eficiência no Uso de Água (Ball 1988, Medina 1999, Sobrado 2000). Sobrado (2000) estudando *A. germinans*, *L. racemosa* e *R. mangle* observou que a primeira espécie apresenta maior assimilação fotossintética, devido a sua maior eficiência em uso da água em nível de folha e menor eficiência no transporte de água em nível de tronco. No presente trabalho, ambas as espécies consideradas tolerantes, *A. schaueriana* e *L. racemosa*, registraram esse comportamento com aumento da salinidade, isto é, da Ilha para o manguezal do rio Aribiri e, nesse último local de estudo, com relação a *R. mangle*.

A conservação de água, fruto da diminuição da condutância estomática e/ou transpiração, impede o resfriamento evaporativo das superfícies fotossintetizantes aumentando, assim, a temperatura foliar e a diferença entre a temperatura da folha e do ar, sendo que o ideal é a temperatura foliar estar abaixo da temperatura do ar em alguns graus, possibilitando que elevada temperatura não limite a assimilação de carbono (Lugo et al. 2007). No manguezal do rio Aribiri, *L. racemosa* exibiu a maior  $\Delta T_{ar-T_{foliar}}$ , talvez em função da redução na concentração de pigmentos carotenoides com a salinidade.

*L. racemosa* se destaca quanto a sua elevada  $\Delta T_{ar-T_{foliar}}$  e sua concentração de carbono interno no manguezal do rio Aribiri. A elevada temperatura foliar com relação à temperatura do ar, não causa redução em assimilação fotossintética entre as áreas de estudo, pois a temperatura da folha não excede 30°C de maneira que enzimas, como a RUBISCO, não são inibidas (Barr et al. 2009). Essa espécie, apesar de apresentar menor concentração de carbono interno no manguezal do rio Aribiri com relação às outras espécies, de acordo com sua menor condutância estomática, sua assimilação de carbono não é a menor nesse local, provavelmente devido ao melhor uso da água em nível de folha (Sobrado 2000).

O gênero *Avicennia* é reconhecido como o mais tolerante à salinidade (Ball 1988). *A. schaueriana* surpreende por não aumentar EUA dos indivíduos da Ilha para o manguezal do rio Aribiri, como esperado para seu gênero, nem alterar sua assimilação, embora exista uma lacuna no conhecimento a respeito do grau de tolerância à salinidade dessa espécie em particular. Atribuímos tal comportamento

ao fato de a salinidade nas áreas ainda não se encontrarem em concentrações elevadas o suficiente para interferir no metabolismo da espécie.

Ao contrário do esperado, a salinidade não interfere na concentração de clorofila *a* e *b* e clorofila total, de modo que, a absorção de fótons se mantém (Sobrado 2005), sugerindo que a salinidade imposta não está suficientemente alta para interferir na concentração desses pigmentos. A concentração dos pigmentos carotenoides diminui com aumento em salinidade em *L. racemosa* e *R. mangle*, indicando que essas espécies não necessitam dissipar excesso de energia.

## 7. CONCLUSÕES

Em condições de maior salinidade, no caso o manguezal do rio Aribiri, os resultados do Teste JIP apontam que *L. racemosa* e *R. mangle* apresentaram melhor desempenho fotoquímico ( $\Phi P_o$ ,  $PI_{ABS}$  e  $PI_{total}$ ). No entanto, a avaliação de trocas gasosas (A e EUA) claramente indica que *A. schaueriana* e *L. racemosa* são as espécies mais tolerantes às condições impostas como conjecturado no início do trabalho.

As espécies quando comparadas separadamente, mostram diferentes padrões. Apesar de alguns parâmetros do Teste JIP e as Curvas OJIP indicarem que *A. schaueriana* seja sensível à salinidade ela não altera  $PI_{ABS}$  e  $PI_{total}$  com aumento em salinidade, sua assimilação fotossintética e EUA também permanecem constantes. As análises das Curvas OJIP, Teste JIP e Trocas Gasosas demonstram tolerância à salinidade e de *L. racemosa*. Falqueto et al. (2008, 2012) observaram sua maior tolerância comparada à *R. mangle* na Baía de Vitória. Contrariando o resultado do Teste JIP, mas confirmando a hipótese inicial, *R. mangle* demonstra sensibilidade à salinidade quanto a sua assimilação de carbono e Eficiência no Uso da Água.

Recomenda-se para melhor entendimento do comportamento das espécies, avaliação do desempenho fotossintético sazonal e diário, além de uma análise de nutrientes das folhas e sedimentos da área de estudo. Faz-se necessário, estudos em laboratório e em campo a respeito da espécie *A. schaueriana* a fim de determinar sua tolerância à salinidade, vale destacar que a espécie em questão domina a estrutura do bosque em altura e nos maiores diâmetros.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Demmig-Adams, B.; Adams III, W. W. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. **The trends in plant science**, V. 1, P. 21–26, 1996.
- Adamski, J. M.; Peters, J. A.; Danieloski, R.; Bacarin, M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, V. 168, P. 2056-2062, 2011.
- Almeida, L. G.; Silva, M. R. L. F.; Vale, C. C. Análise Multitemporal Da Baía De Vitória (ES) Utilizando Sensoriamento Remoto. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, P. 4557-4564, 2007.
- Alongi, D. M. **Present State And Future Of The World's Mangrove Forests**. *Environmental Conservation*, V. 29 (3), P. 331-349, 2002.
- Arnon, D. Copper enzymes in isolated chloroplast: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, V. 24 (1), P. 1-15, 1949.
- Bacarin, M. A.; Deuner, S.; Silva, F. S. P.; Silva, D. M. Chlorophyll A Fluorescence As Indicative Of The Salt Stress On *Brassica napus*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, V. 23, P. 245-253, 2011.
- Ball, M. C. Photosynthesis In Mangroves. **Wetlands**, V. 6(1), P. 12-22, 1986.
- Ball, M. C. Ecophysiology Of Mangroves. **Trees**, V. 2, P. 129-142, 1988.
- Ball, M. C.; Cochrane, M. J.; Rawson, H. M. Grow And Water Use Of The Mangroves *Rhizophora apiculata* And *R. stylosa* In Response To Salinity And Humidity Under Ambient And Elevated Concentrations Of Atmospheric CO<sub>2</sub>. **Plant, Cell And Environment**, V. 20, P. 1158-1166. 1997.
- Ball M.C.; Farquhar G. D. Photosynthetic And Stomatal Responses Of 2 Mangrove Species, *Aegiceras corniculatum* And *Avicennia marina*, To Long-Term Salinity And Humidity Conditions. **Plant Physiology**, V. 74, P. 1–6, 1984.
- Barr, J. G.; Fuentes, J. D.; Engel, V.; Zieman, J. C. Physiological Responses Of Red Mangroves To The Climate In The Florida Everglades. **Journal Of Geophysical Research**, V. 114, 2009.

- Bastos, A. C.; Vilela, C. G.; Quaresma, V. S.; Almeida, F. K. Mid- To Late- Holocene Estuarine Infilling Processes Studied By Radiocarbon Dates, High Resolution Seismic And Biofacies At Vitoria Bay, Espirito Santo, Southeastern, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, V. 82 (3), P. 761-770, 2010.
- Carmo, T. M. S.; Almeida, R.; Oliveira, A. R.; Melo, R. M. S.; Xavier, S. Z. Extração Da Casca De *Rhizophoramangle* L.: Alterações Na Estrutura Da Vegetação. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, V. 8 (2), P. 1-7, 2010.
- Christian, R. Interactive Effects Of Salinity And Irradiance On Photoprotection In Acclimated Seedlings Of Two Sympatric Mangroves. **Trees**, V. 19, P. 596-606, 2005.
- Cruz, M. C. M.; Siqueira, D. L.; Salomão, L. C. C.; Cecon, P, R. Fluorescência Da Clorofila *a* Em Folhas De Tangerineira “Ponkan” E Limeira Ácida “Tahiti” Submetidas Ao Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, V. 31 (3), P. 896-901, 2009.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) Disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/> Acesso em 2013.
- Falqueto, A. R.; Silva, D. M.; Fontes, R. V. Photosynthetic Performance Of Mangroves *Rhizophora mangle* And *Lagunculariaracemosa* Under Fields Conditions. **Revista Árvore**, V. 32, P. 577-582, 2008.
- Falqueto, A. R.; Silva, D. M.; Fontes, R. V. Analysis Of Chlorophyll *a* Fluorescence Of Two Mangrove Species Of Vitória Bay (ES, Brazil) To Natural Variation Of Tide. **Revista Biociências**, V. 18 (2), P. 14-23, 2012.
- Feller, I. C.; Mckee, K. L.; Whigham, D. F.; O'Neill, J. P. Nitrogen vs. Phosphorus Limitations Across An Ecotonal Gradient In A Mangrove. **Biogeochemistry**, V. 62 (2), P. 145-175, 2003.
- Flowers, T. J.; Colmer, T. D. Salinity Tolerance In Halophytes. **New Phytologist**, V. 179, P. 945-963, 2008.
- Fernandes, L. L.; Sterza, J. M.; Neves, K. O. Seasonal Chaetognath Abundance And Distribution In A Tropical Estuary (Southeastern). **Brazilian Jornal of Oceanography**, V. 53 (1/2), P. 47-53, 2005.

- Góes, P.; Branco, J. O.; Pinheiro, M. A. A.; Barbieri, E.; Costa, D.; Fernandes, L. L. Bioecology Of The Uçá-Crab, *Ucidescordatus* (Linnaeus, 1763), In Vitória Bay, Espírito Santo State, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, V. 58 (2), P. 153-163, 2010.
- Gonçalves, J. F. C.; Silva, C. E.; Guimarães, D. G.; Bernardes, R. S. Análise Dos Transientes Da Fluorescência Da Clorofila A De Plantas Jovens De *Carapaguianensis* e de *Dipteryxodorata* Submetidas A Dois Ambientes De Luz. **Acta Amazonica**, V. 40 (1), P. 89-98, 2010.
- Hoppe-Speer, C. L.; Adams, J. B.; Rajkaran, A.; Bailey, D. The Response Of The Red Mangrove *RhizophoraMucronata* Lam. To Salinity And Inundation In South Africa. **Aquatic Botany**, V. 95, P. 71-76, 2011.
- IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). Atlas Do Senso Demográfico 2010. IBGE, Rio de Janeiro, 160p. 2013.
- INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural) Disponível em <http://www.incaper.es.gov.br/>. Acesso em 2013.
- IPEMA (Instituto De Pesquisas Da Mata Atlântica). Subsídios Para O Processo De Reconhecimento Do Mosaico De Áreas Protegidas Do Manguezal Da Baía De Vitória – Espírito Santo. Documento técnico, Vitória, 35p. 2010.
- Jesus, H. C.; Costa, E. A.; Mendonça, A. S. F.; Zandonate, E. Distribuição De Metais Pesados Em Sedimentos Do Sistema Estuarino Da Ilha De Vitória. **Química Nova**, V. 27 (3), P. 378-386, 2004.
- Joliot, P.; Joliot, A. Cyclic Eletron Transfer In Plant Leaf. **Plant Biology**, V. 99 (15), P. 10209-10124, 2002.
- Kathiresan, K.; Kannan, L. photosynthetic productivity in species of rhizophora. 1985 *apud* Moorthy, P.; Kathiresan, K. Photosynthetic Efficiency In Rhizophoraceae an Mangroves With Reference To Compartmentalization Of Photosynthetic Pigments. **Revista de Biologia Tropical**, V. 47 (1-2), 1999.
- Larcher, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Rima, São Carlos, 531p., 2006
- Libes, S. M. **Introduction To Marine Biogeochemistry**. Academic Press, Amsterdam, 909p., 2009

- Lichtenthaler, H. K. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In Colowick, S. P.; Kaplan, N. O. **Methods in enzymology**. Academic, New Yourk, 1987. P. 350-382.
- Lima, T. M. J. **Efeito Da Frequência De Inundação Na Estrutura Do Manguezal Da Baía De Vitória, Espírito Santo, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Ambiental) – Universidade Federal Do Espírito Santo, Vitória. 2011.
- Lovelock, C. E.; Feller, I. C.; Kee, K. L. M.; Engelbrecht, M. J.; Ball, M. C. The Effect Of Nutrient Enrichment On Growth, Photosynthesis And Hydraulic Conductance Of Dwarf Mangroves In Panamá. **Functional Ecology**, V. 18, P. 25-33, 2004.
- Lovelock, C. E.; Ball, M. C.; Choat, B.; Engelbrecht, B. M. J. Holbrook, N. M.; Feller, I. C. Linking Physiological Processes With Mangrove Forest Structure: Phosphorus Deficiency Limts Canopy Development, Hydraulic Conductivity And Photosynthetic Carbon Gain In Dwarf *Rhizophora mangle*. **Plant, Cell and Environment**, V. 29, P. 793-802, 2006.
- Lugo, A. R.; Medina, E.; Cuevas, E.; Cintron, G.; Nieves, E. N. L.; Schaeffer-Novelli, Y. Ecophysiology Of A Mangrove Forest In Jobos Bay, Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, V. 43 (2), P. 200-219, 2007.
- Martin, K. C.; Bruhn, D.; Lovelock, C. E.; Feller, I. C.; Evans, J. R.; Ball, M. C. Nitrogen Fertilization Enhances Water-Use Efficiency In A Saline Environment. **Plant, Cell And Environment**, V. 33, P. 344-357, 2010.
- Maxwell, K.; Johnson, G. N. Chlorophyll Fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, V. 51(343), P. 659-668. 2000.
- Medina, E. Mangrove Physiology: The Challenge Of Salt, Heat, And Light Stress Under Recurrent Flooding. In: Yáñez-Arancibia, A.; Lara-Dominguez, A. L. (Ed.) **Ecosistemas De Manglar Em América Tropical**. Instituto de Ecologia A. C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS, Silver Spring, MD, Estados Unidos, 1999. P. 109-126.
- Mehta, P.; Jajoo, A.; Mathur, S.; Bharti, S. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, V. 48, P. 16-20, 2010.



- Mendonza, D. G.; Gil, F. E.; Santamri, J. M.; Zapata-Perez, O. Multiple Effects Of Cadmium On The Photosynthetic Apparatus of *Avicenniagerminans* L. As Probed By OJIP Chlorophyll Fluorescence Measurements. **Verlag der Zeischriftfur Naturforschung**, V. 62 (3), P. 265-272, 2009.
- Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B. **Princípios De Oceanografia Física De Estuários**. EdUSP, São Paulo, 411p. 2002.
- Moorthy, P.; Kathiresan, K. Photosynthetic Efficiency In Rhizophoraceae Na Mangroves With Reference To Compartmentalization Of Photosynthetic Pigments. **Revista de Biologia Tropical**, V. 47 (1-2), 1999.
- Moreira, R. P. G.; Ramos, R. J.; Netto, R. F. Composição Faunística Dos Crustáceos Do Gênero *Uca* (Ocypodidae) Em Manguezal Do Município De Serra. **Natureza online**, V. 8 (1), P. 46-50.
- Mulinari, M.; Góes, P.; Ferracioli, L. Modelagem Computacional E Dinâmica De Sistemas: Ferramentas De Análises De Ecossistema Manguezal.
- Nalesso, R. C.; Joyeux, J-C.; Quintana, C. O.; Torezani, E.; Otegui, A. C. P. Soft-Bottom Macrobenthic Communities Of The Vitória Bay Estuarine System, South-Eastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, V. 53 (1/2), P. 23-38, 2005.
- Naidoo G.; Tuffers A. V.; Von Willert D. J. Changes In Gas Exchange And Chlorophyll Fluorescence Characteristics Of Two Mangroves And A Mangrove Associate In Response To Salinity In The Natural Environment. **Trees-Structure And Function**, V. 16, P. 140–146, 2002.
- Naidoo, G. Differential Effects Of Nitrogen And Phosphorus Enrichment On Growth Of Dwarf *Avicennia marina* Mangroves. **Aquatic Botany**, V. 90, P. 184-190, 2009.
- Naidoo, G.; Hiralal, O.; Naidoo Y. Hypersalinity Effects On Leaf Ultrastructure And Physiology In The Mangrove *Avicennia Marina*. **Flora**, V. 206, P. 814-820, 2011.
- Oukarroum, A.; Schansker, G.; Strasser, R. J. Drought stress effects on photosystem I content and photosystem II thermotolerance analyzed using chl

- a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerance. **Physiol Plant**, V. 137, P. 188-199, 2009.
- Papageorgiou, G. C.; Tsimilli-Michael, M.; Stamatakis K. The Fast And Slow Kinetics Of Chlorophyll *a* Fluorescence Induction In Plants, Algae And Cyanobacteria: A Viewpoint. **Photosynth Reseach**, V. 94, P. 275-290, 2007.
- Parida, A. K.; Das, A. B.; Mitra, B. Effects Of NaCl Stress On The Structure, Pigment Complex, Composition, And Photosynthetic Activity Of Mangrove *Bruguiera Parviflora* Chloroplasts. **Photosynthetica**, V. 41 (2), P. 191-200, 2003.
- Parida, A. K.; Das, A. B.; Mitra, B. Effects Of Salt On Growth, Ion Accumulation, Photosynthesis And Leaf Anatomy Of The Mangrove, *Bruguiera parviflora*. **Trees**, V. 18, P. 167-174, 2004.
- Parida, A. K.; Jha, B. Salt Tolerance Mechanisms In Mangroves: A Review. **Trees**, V. 24, P. 199-217, 2010.
- Popp, M., Larher, F., Weigel, P. Osmotic Adaptation In Australian Mangroves. **Vegetatio**, V. 61, P.247–253, 1985.
- Prisco, J. T.; Gomes-Filho, E. Fisiologia E Bioquímica Do Estresse Salino Em Plantas. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. **Manejo Da Salinidade Na Agricultura**: Estudos Básicos E Aplicados. INCTSal, Fortaleza, 2010. P. 149-164.
- Rigo, D. **Análise Do Escoamento Em Regiões Estuarinas Com Manguezais – Medições E Modelagem Da Baía De Vitória**. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.
- Sarmiento, L. B.; Lima, P. F.; Rocha, E. C.; Zorzal, S. Captura Comercial Do Caranguejo-Uçá, *Ucides Cordatus* (L. 1763), No Manguezal De Vitória – ES. **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**, São Lourenço, 2009.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero G.; Adaime, R. R.; Camargo, T. M. Variability of Mangrove Brazilian Coast. **Estuaries**, V. 13 (2), P. 204-218, 1990.

- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero G.; Soares M. L. G.; De-Rosa, M. T. Brazilian Mangroves. **Aquatic Ecosystem Health And Management**, V. 3, P. 561-570, 2000.
- Schock, A. A. **Características Fisiológicas E Anatômicas De Pinhão Manso Conduzidos Em Diferentes Condições De Luminosidade**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.
- Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Hemmingsen, E. A.; Garey. Salt Balance In Mangroves. **Plant Physiology**, V. 37: 722-729, 1962.
- Silva, M. A. B.; Bernini, E.; Carmo, T. M. S. Características Estruturais De Bosques De Mangue Do Estuário Do Rio São Mateus. **Acta Botânica Brasileira**, V. 19 (3), P. 465-471, 2005.
- Sobrado, M. A. Drought Effects On Photosynthesis Of The Mangrove, *Avicenniagerminans*, Under Salinities. **Trees**, V. 13, P. 125-130, 1999<sup>a</sup>.
- Sobrado, M. A. Leaf Photosynthesis Of The Mangrove *Avicennia germinans* as Affected By NaCl. **Photosynthetica**, V. 36 (4), P. 547-555, 1999<sup>b</sup>.
- Sobrado, M. A. Relation Of Water Transport To Leaf Gas Exchange Properties In Three Mangrove Species. **Trees**, V. 14, P. 258-262, 2000.
- Sobrado, M. A. Hydraulic Properties Of A Mangrove *Avicenniagerminans* As Affected By NaCl. **Biologia Plantarum**, V. 44(3), P. 435-438, 2001.
- Sobrado, M. A. Leaf Characteristics And Gas Exchange Of The Mangrove *Lagunculariaracemosa* As Affected By Salinity. **Photosynthetica**, V. 43 (2): 217-221, 2005.
- Sobrado, M. A.; Greanes, E. D. Leaf Secretion Composition Of The Mangrove Species *Avicenniagerminans* (L.) In Relation To Salinity: A Case Study By Using Total-Reflection X-Ray Fluorescence Analysis. **Plant Science**, V. 159, P. 1-5, 2000.
- Stenza, J. M.; Fernandes, L. L. Zooplankton Community Of The Vitória Bay Estuarine System (Southeastern Brazil). Characterization During A Three-Year Study. **Brazilian Journal of Oceanography**, V. 54 (2/3), P. 95-105, 2006.

- Strasser, R. J. Donor side capacity of photosystem II probed by chlorophyll a fluorescence transients. *Photosynth Reseach*, V. 52, P. 147-155, 1997. In Adamski, J. M.; Peters, J. A.; Danieloski, R.; Bacarin, M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, V. 168, P. 2056-2062, 2011.
- Strasser, R. J.; Srivasta, A.; Tsimilli-Michael, M. The Fluorescence Transiente As A Tool To Characterize And Screen Photosynthetic Samples. In: Yunus, M.; Pathre, U.; Mohanty, P. (Ed.) **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. Taylor and Francis, London, 2000. P. 443-480.
- Strasser, R. J.; Tsimilli-Michael, M.; Srivasta, A. Analysis Of The Chlorophyll a Fluorescence Transiente. In: Papageorgiou, G. C.; Govindjee (Ed.) **Chlorophyll a Fluorescence: A Signature Of Photosynthesis**, Arizona State University, Arizona, 2004. P. 321-362.
- Suarez, N.; Medina, N. Salinity Effects On Leaf Ion Composition And Salt Secretion Rate In *Avienniagerminans* (L.) L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, V. 20 (2), P. 131-140, 2008.
- Sudhir, P.; Murthy, S., D., S. Effects Of Salt Stress On Basic Processes Of Photosynthesis. **Photosynthetica**, V. 42 (2), P. 481-486, 2004.
- Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia Vegetal**. Artmed, Porto Alegre, 721p. 2006.
- Tomlinson, P. B. **The Botany of Mangroves**. Cambridge University Press, Cambridge, 419p. 1986.
- Toth, S.; Schansker, G.; Strasser, R. J. A Non-Invasive Assay of the Plastoquinone Pool Redox State Based On The OJIP-Transient. **Photosynth Research**, V. 93: P. 193-203, 2007.
- Veronez, P.; Bastos, A. C.; Quaresma, V. S. Morfologia E Distribuição Sedimentar Em Um Sistema Estuarino Tropical: Baía De Vitória, ES. **Revista Brasileira de Geofísica**, V. 27 (4), P. 609-624, 2009.
- Wang, W.; Yan, Z.; You, S.; Zhang, Y.; Chen, L.; Lin, G. Mangroves: Obligate Or Facultative Halophytes? A Review. **Trees**, V. 25, P. 953-963, 2011.

- Walsh, G. E. **Mangroves**: A Review. In Reimold, R. J.; Queen, W. H. Academic Press, New York, 1974, P. 51-174.
- Yusuf, M. A.; Kumar, D.; Rajwanshi, R.; Strasser, R. J.; Tsimilli-Michael, M.; Govindjee; Sarin, N. B. Overexpression Of  $\gamma$ -tocopherol Methyl Transferase Gene In Transgenic *Brassica juncea* Plants Alleviates Abiotic Stress: Physiological And Chlorophyll *a* Fluorescence Measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, V. 1797, P. 1428-1238, 2010.
- Yamane, Y.; Kashino, Y.; Koike, H.; Satoh, K. Increases In The Fluorescence  $F_0$  Level And Reversible Inhibition Of Photosystem II Reaction Center By High-Temperature Treatments In Higher Plants. **Photosynthesis Research**, V. 52, P. 57-64, 1997.
- Zamprogno, G. C.; Tognella, M. M. P.; Couto, G. F.; Aoyama, E. M.; Alves-Araújo, A.; Mesquita, J. C. A.; Barcellos, U. D.; Lopes, D. M. S. Morphological characters evaluation in mangrove vegetation from Vitoria Bay. (Espírito Santo State, ES, Brazil). **Communications in Plant Sciences**, V. 2, P. 159-161, 2012.